26441

Institut de génie des matériaux

Industrial Materials Research Institute

Conseil national de recherches Canada
National Research Council Canada

IGM81-000-025
CNRC 26441

Séminaire IGM

PROGRAMME DE DEVELOPPEMENT PROFESSIONNEL - 1981

L.A. Utracki
Directeur de programme

Institut de génie des matériaux

Mai 1981

CONSEIL NATIONAL DE RECHERCHES DU CANADA
INSTITUT DE GÉNIE DES MATÉRIAUX

SOCIÉTÉ DES INGÉNIEURS EN PLASTIQUES
(SPE)
RÉGION DU QUÉBEC

PROGRAMME DE DEVELOPPEMENT PROFESSIONNEL - 1981

" MISE EN OEUVRE DES PLASTIQUES"

28 MAI 1981

8 H 30	INVITATION, G.L. BATA, IGM, CNRC
8 H 45	TYPES, STRUCTURE, PROPRIÉTÉS ET APPLICATIONS DES POLYMÈRES, J.M. CHARRIER, MCGILL
10 H 00	CAFÉ
10 H 30	MÉTHODES DE CARACTÉRISATION, D'ANALYSE ET CONTRÔLE DE QUALITÉ DES POLYMÈRES, J.E.L. ROOVERS, DIV. CHIMIE, CNRC
12 H 00	DÉJEUNER
13 H 00	ECOULEMENT FLUIDE DES POLYMÈRES ET RÔLE DANS LA MISE EN OEUVRE, L.A. UTRACKI, IGM, CNRC
14 H 00	VISITE AUX LABORATOIRES DE RHÉOLOGIE
16 H 30	FIN DU PREMIER SEMINAIRE

---

29 MAI 1981

8 H 30	PRINCIPES FONDAMENTAUX DE L'EXTRUSION, DU MOULAGE PAR INJECTION ET DU MOULAGE PAR SOUFFLAGE, I. PATTERSON, ECOLE POLYTECHNIQUE
10 H 30	CAFÉ
11 H 00	ASPECTS ÉCONOMIQUES DES OPÉRATIONS DE FABRICATION DES PLASTIQUES. A. CATANI, IGM, CNRC
12 H 00	DÉJEUNER
14 H 00	LONGÉVITÉ DES PLASTIQUES, RÉSISTANCE AU FEU, AU VIEILLISSEMENT ET À LA RUPTURE. A. BLAGA, DIV. DE RECHERCHE SUR LE BÂTIMENT, CNRC
15 H 15	LES CONTRAINTES RÉSIDUELS DANS LES PLASTIQUES H.P. SCHREIBER, ECOLE POLYTECHNIQUE
16 H 30	REMARQUES FINALES, L.A. UTRACKI, IGM, CNRC

CENTRE NATIONAL DE
RECHERCHES-CANADA (C.N.R.)

INSTITUT DE GENIE
DES MATERIAUX (I.G.M.)

SOCIETE DES INGENIEURS
EN PLASTIQUES (S.P.E.)

SECTION DU QUEBEC

PROGRAMME DE DEVELOPPEMENT PROFESSIONNEL - 1981

"MISE EN OEUVRE DES PLASTIQUES"

28 mai 1981, 8h30 - 10h30

J.-M. Charrier, Université McGill

"Types, structure, propriétés et applications des polymères"

Les caractéristiques de structure moléculaire des polymères ayant le plus d'effet sur leur comportement sont d'abord passées en revue.

Les types de polymères sont ensuite discutés par classes correspondant à des comportements physiques ou à des méthodes de mise en oeuvre distincts.

La discussion des applications est enfin présentée en fonction du type de propriété jouant un rôle prépondérant dans l'application.

Note: Une liste de références en français (livres et revues) sera remise aux participants.

JMC, 81/04/20

TYPES, STRUCTURE, PROPRIETES ET APPLICATIONS DES POLYMERES

A) Structure générale des polymères

- Monomères, examples
- Polymérisation
- Chaines polymériques
  mass moléculaire et distribution de MM
  tacticité, ramifications
- Copolymères aléatoires et en blocs
  ex: caoutchoucs CSB (styrène-butadiène)
  ou CEP (éthylène-propylène)
- Cristallisation, taux de cristallinité
  ex: polyéthylène haute et basse densité
- Réticulation et réseaux tri-dimensionnels
  ex: caoutchouc naturel
  polyesters insaturés
- Plastifiants, plastisols
  ex: polychlorure de vinyle
- Charges
  particules - ex: noir de carbone et caoutchouc
  fibres - ex: fibre de verre et polyester insaturé
- Adjuvants
  antioxidants
  stabilisants U.V.
  agents d'assistance à la transformation
  lubrifiants
  agents anti-combustion
  pigments colorés
  agents anti-collage

JMC, 81/04/14

B) Classes de matériaux polymériques

- Thermoplastiques TP
  - non cristallizables
    température de transition vitreuse T_v
    ex: polystyrène (usage général, choc) PS
    polyméthacrylate de méthyle PMAM
    polychlorure de vinyle PCV
    copolymere acrylonitrile butadiene styrene ABS
  - cristallisables
    temperature de fusion T_f
    ex: polyéthylène PE
    polypropylène PP
    polyamides (nylons) PA
    polytéréphtalate d'éthylène PTE
    polytétrafluorure d'éthylène PTFE
    polycarbonate (basse cristallinité) PC
    polyoxide de méthylène (acétal) POM
    polyoxide de phenylène POP
- Résines thermodurcissables etc. TD
  - réaction à haute température
    ex: phénoliques
    résines basées sur l'urée ou la mélamine etc...
  - réaction catalysée
    ex: polyesters insaturés
    epoxies
    polyuréthannes etc...
- Caoutchoucs (réticulation)
    ex: caoutchouc naturel CN
    caoutchouc styrène - butadiène CSB
    polychloroprène (néoprène) CC
    caoutchouc butyle CB
    caoutchouc éthylène-propylène
- Fibres (cristallisation et orientation par étirement)
    ex: polypropylène
    nylon
    polyesters
    acryliques
- Composites
  - particules, fibres courtes ou continues, plaquettes etc.
    ex: caoutchouc et noir de carbone
    caoutchouc et fibres polymériques
    thermodurcissables et charges
    mousses rigides ou flexibles
    thermoplastiques et fibres de verre courtes TPR
    thermodurcissables et fibres de verre continue PRFV

JMC, 81/04/14

C) Effet général de la température sur l'état physique
- rigidité, densité
  - non cristallisables (vitreux, caoutchoutique)
    - non réticulés
    - réticules
  - cristallisables (fusion)
  - copolymères aléatoires et en blocs

D) Effet général du temps ou de la vitesse de deformation sur les propriétés
  - état solide
    ex: fluage, relaxation des contraintes etc..
  - état fluide
    ex: viscosité, gonflement à la filière etc...

E) Applications et évaluation des polymères
- applications structurales (propriétés mécaniques)
  - rigidité (tension, flexion etc.)
  - résistance à la rupture
    - statique (tension, flexion etc.)
    - dynamique (choc, fatigue etc.)
  - diverses
    déchirement, usure, frottement etc.
    ex: supports, coussinets, engrenages, charnieres flexibles etc..
- applications comme barrières (propriétés chimiques et de transport)
  - résistance, chimique, contenants, revètements
    ex: réservoir à combustible
  - transport massique (perméabilité), pellicules
    ex: emballage d'aliments, chambres à air de pneus, etc.
  - propriétés électriques (conductivité thermique, formation d'arc etc.)
    ex: isolant de fils, composants électriques condensateurs etc.
- autres applications
    ex: ballons météorologiques, contenants de chirurgie etc.
- amortissement de vibrations
    ex: butées en caoutchouc, pneus etc.
- propriétés optiques
    ex: verres de lunettes, pare soleil etc.
- compatibilité biologique
    ex: élements implantés par chirurgie etc.
- perméabilité sélective
    ex: séparation d'isotopes, adoucissement d'eau, etc.

JMC, 81/04/14

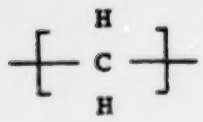
F) Techniques de mise en oeuvre (transformation)

Thermoplastiques TP
Thermodurcissables TD
Caoutchoucs C

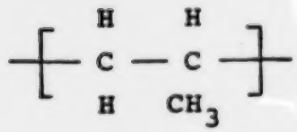
- Investissment relativement fiable
  - coulée (surtout TD)
  - revêtements (trempage, lit fluidisé etc.) (TP)
  - moulage par rotation (TP)
  - formage à chaud (TP)
- Investissement important
  - moulage par compression et transfert (TD,C)
  - extrusion (boudinage)
  - moulage par injection (surtout TP)
  - calandrage (TP)
  - soufflage de films (pellicules) (TP)
  - moulage par soufflage (TP)
- Techniques spéciales
  - fabrication de filaments et fibres
  - fabrication de plastiques renforcés
  - plastiques et caoutchoucs cellulaires
  - fabrication de pneumatiques

JMC, 81/04/14

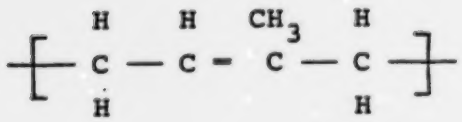
Polyéthylène PE



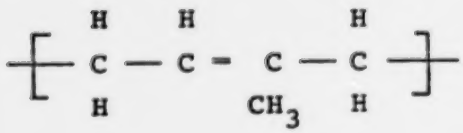
Polypropylène PP



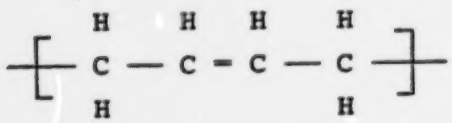
Caoutchouc naturel CN
Cis 1-4 polyisoprene Pl



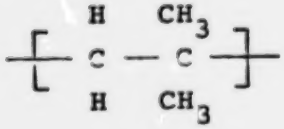
Gutta-Percha trans 1-4
Polyisoprène



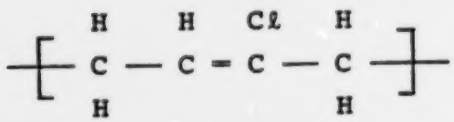
Polybutadiène PB (cis)



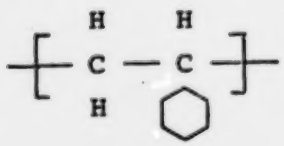
Polyisobutylène PIB



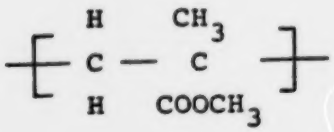
Polystyrène CR (cis)



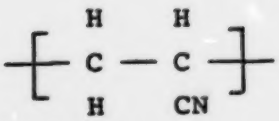
Polystyrène PS



Polyméthacrylate de
méthyle PMAM

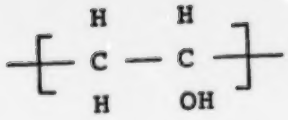


Polyacrylonitrile PAN

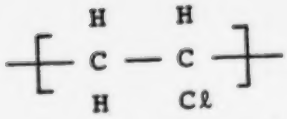


JMC,81/04/20

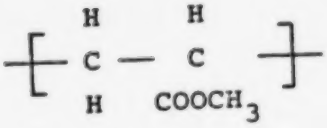
Polyalcool de vinyle PAV



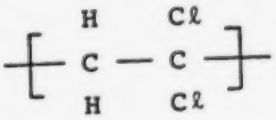
Polychlorure de vinyle PCV



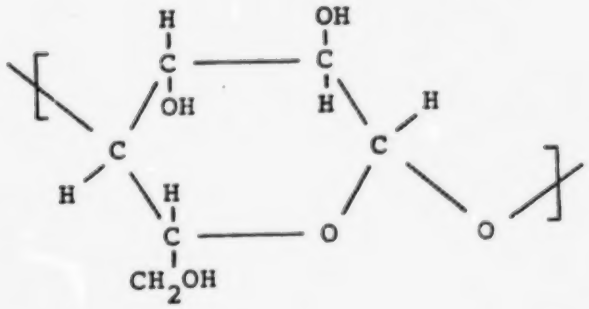
Polyacétate de vinyle PAcV



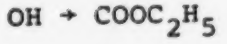
Polychlorure de vinylidène PCVd



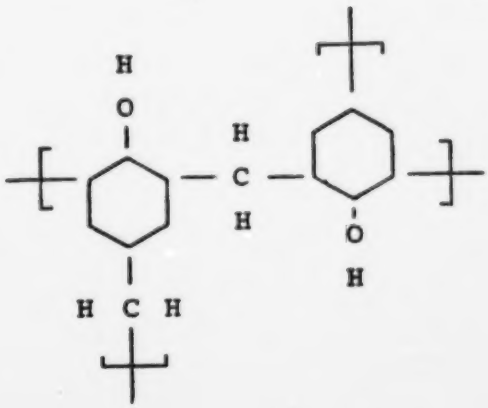
Cellulose



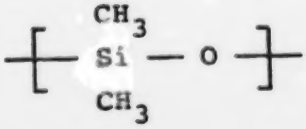
Acétate de Cellulose



Phénol formaldéhyde

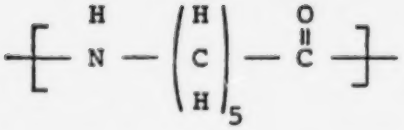


Polydiméthylsiloxane (silicone)

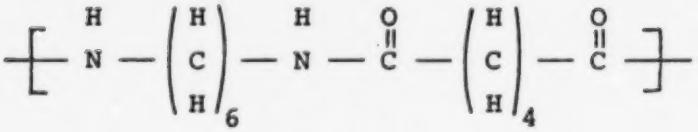


JMC,81/04/20

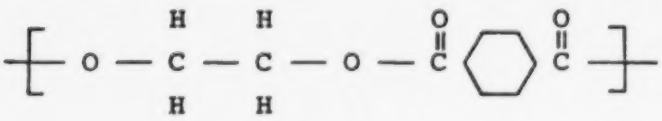
Nylon 6



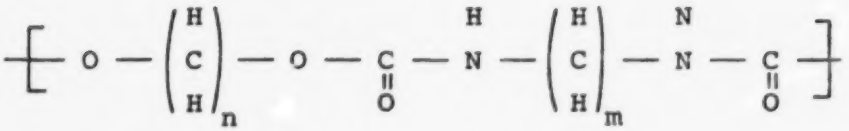
Nylon 6-6



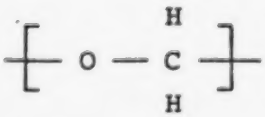
Polytéréphtalate d'éthylène PTE



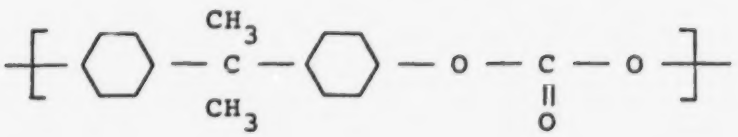
Polyuréthanne PU



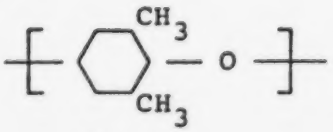
Polyoxide de méthylène POM



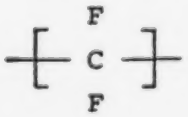
Polycarbonate PC



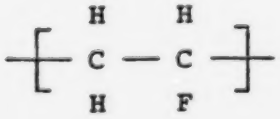
Polyoxide de phénylène POP



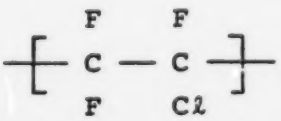
Polytétrafluorure d'éthylène PTFE



Polyfluorure de vinyle PFV



Polychlorotrifluorure d'éthylène PCFFE



JMC,81/04/20

TEMPERATURES CARACTERISTIQUES*

	Tv	Tf
Polyéthylène	-110	120
Polypropylène	- 18	175
Polyisoprène (cis)	- 70	
Polyisoprène (trans)	- 70	
Polybutadiène	- 90	
Polyisobutylène	- 65	
Polychloroprène	- 50	
Polystyrène	100	
Polyméthacrylate de méthyle	100	
Polyacrylonitrile	100	320
Polychlorure de vinyle	80	
Polychlorure de vinylidène	- 18	190
Polytétrafluorure d'éthylène	125	325
Nylon 6	50	225
Polytéréphtalate d'éthylène	80	265
Polyoxide de méthylène	- 60	180
Polycarbonate	150	230
Polyoxide de phénylène	210	

* valeurs approximatives en degrés Celsius

JMC, 81/04/08

Caractérisation des Polymères

J. Roovers
Division de Chimie
Conseil National de Recherches du Canada
Ottawa, Ontario K1A 0R9 Canada

Analyse chimique

Il arrive souvent qu'on reçoit un polymère duquel on ne connaît même pas la nature chimique. Avant de traiter de ses propriétés physiques et de sa performance, il est nécessaire de connaître la nature chimique du polymère. Comme dans la chimie inorganique et la chimie organique classique on a développé des méthodes systématiques qui aident à l'identification des polymères commerciaux.[1]

Toute analyse commence par une analyse élémentaire. La détermination du pourcentage en poids des éléments spéciaux comme l'azote, le fluor, le chlore, le silicium permet souvent d'identifier le polymère sous main. L'absence de ces éléments caractéristiques réduit le polymère à la grande classe des hydrocarbones, mais l'analyse de carbone et d'hydrogène ne suffit généralement pas pour l'identification d'un polymère. On complète alors l'analyse élémentaire par une étude du spectre infra-rouge du polymère. De nos jours, un spectromètre infra-rouge de bonne résolution et de prix modique donne un spectre infra-rouge complet en quelques minutes. On peut comparer le spectre obtenu aux spectres représentés dans des recueils de plusieurs milliers de spectres infra-rouge de polymères commerciaux.[1,2] Il est bien utile de connaître les principes sur lesquels se base

l'analyse infra-rouge parce que les fréquences d'absorptions des polymères dépendent souvent des groupes organiques comme dans les composés organiques simples.(3)

Malheureusement, tous les problèmes ne peuvent pas être résolus par l'analyse élémentaire ou infra-rouge. Par exemple, ni l'analyse des polymères à bloc, la tacticité, la présence de faible quantité d'un comonomère, ni la présence d'un mélange de polymères seront facilement reconnaissables. Il y a d'autres techniques plus spécialisées comme la résonance magnétique nucléaire, la pyrolyse couplée à la spectroscopie de masse etc.

Analyse physique. La masse moléculaire

Le degré de polymérisation (DP) d'un polymère détermine le nombre d'unités répétitives qui sont enchaînées dans une macromolécule. Si le poids moléculaire de cette unité est représentée par m_1, la masse moléculaire de la macromolécule est donnée par:

$$M = DP \times m_1$$

Les masses moléculaires élevées (de mille à plusieurs millions) distinguent les polymères des autres composés chimiques.

Un polymère réel est toujours un mélange de macromolécules de différentes tailles. Il en dérive que la masse moléculaire mesurée est une moyenne. On distingue la masse moléculaire moyenne en nombre:

$$\bar{M}_n = \frac{\sum_{i}^{N} i M_i}{N} = \frac{\sum_{i} n_i M_i}{\sum_{i} n_i}$$

et la masse moléculaire moyenne en poids:

$$\bar{M}_w = \frac{\sum_i^N n_i M_i M_i}{\sum_i n_i M_i} = \frac{\sum_i w_i M_i}{\sum_i w_i}$$

Il y a différentes méthodes qui permettent de mesurer $\bar{M}n$, $\bar{M}w$, et des masses moléculaires moyennes d'ordre plus élevé.[4a,b] La détermination de la viscosité intrinsèque $[\eta] = \left(\eta_{sp/c}\right)_{c=0}$ est la méthode de choix en pratique. Il s'agit de comparer le temps d'écoulement (t) d'une solution de faible concentration en polymère au temps d'écoulement du solvant (t_0)

$$\eta_{sp} = \left(\eta_r - 1\right) = \left(\frac{\eta}{\eta_0} - 1\right) \cong \left(\frac{t}{t_0} - 1\right)$$

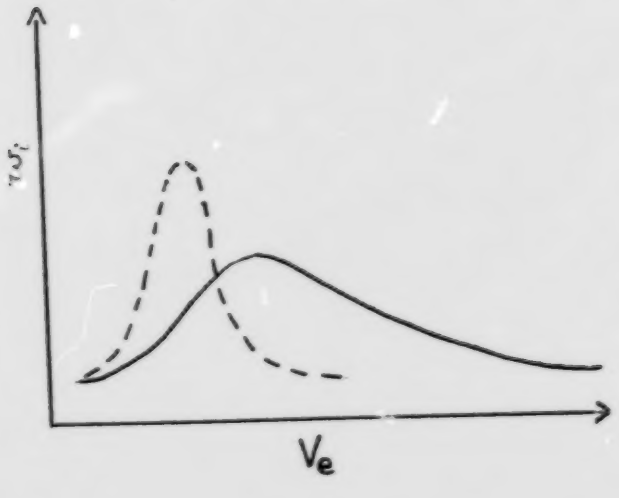
La relation entre la viscosité intrinsèque et la masse moléculaire est de la forme:

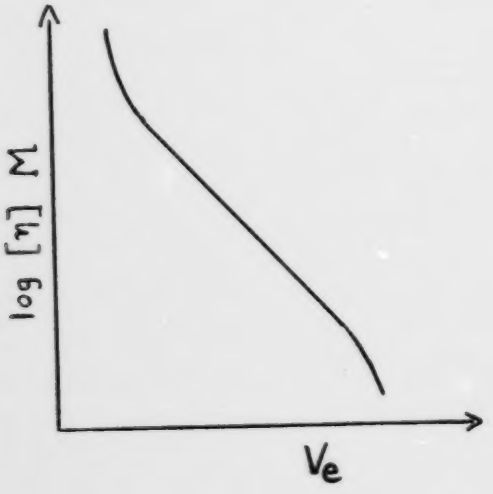
$$[\eta] = K M^a$$

dont K et a sont des constantes qui dépendent du couple polymère-solvant. La masse moléculaire moyenne viscosimétrique est très proche de la moyenne en poids. La méthode viscosimétrique n'est pas une méthode absolue parce qu'elle requiert une calibration par des échantillons dont on a mesuré la masse moléculaire indépendamment. Il existe des tableaux des constantes a et K.[5,6]

Le rapport entre la masse moléculaire en poids et en nombre ($\bar{M}w/\bar{M}n$) est souvent employé pour caractériser la répartition des masses moléculaires qui se trouvent dans un échantillon. Un rapport $\bar{M}w/\bar{M}n$ plus grand indique une grande variété des masses moléculaires dans l'échantillon. Il existe maintenant des polymères dont $\bar{M}w/\bar{M}n$ approche l'unité, indiquant que la taille des molécules est très uniforme, mais beaucoup de polymères

commerciaux ont des rapports très élevés allant jusqu'à 50; ce qui influence considérablement leurs propriétés. Il est maintenant possible de mesurer la masse moléculaire et la distribution des masses moléculaires par perméation chromatographique sur gels. La méthode consiste à passer une solution de polymère par des colonnes garnies d'un polymère réticulé. La réticulation des gels est variée d'une telle manière que les petites molécules (à masse moléculaire faible) peuvent entrer dans le gel tandis que les grandes molécules seront éluées par le solvant. Donc, les grandes macromolécules paraîtront les premières à la sortie des colonnes. On a observé que pour des bonnes colonnes le logarithme de la masse moléculaire est inversement proportionnel au volume d'écoulement. La calibration universelle, qui dit que $[\eta] \cdot M$ = constante, est valable sous de larges conditions.

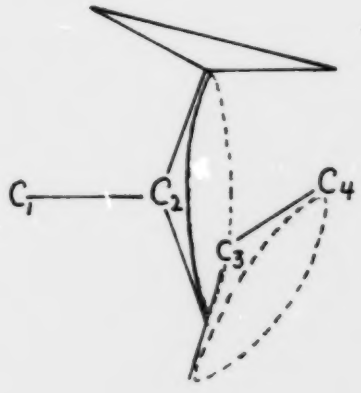




Analyse physique. Le rayon de giration[7,8]

Il est important de savoir que les propriétés des polymères ne dépendent qu'indirectement de leur masse moléculaire. Il est plus précis de dire que ces propriétés sont le résultat des grandes dimensions et des conformations spatiales des polymères. Il est approprié de considérer les chaînes polymériques comme des fils longs et plutôt minces, mais rarement étendus sur leurs longueurs totales.

Un squelette de liaison carbone formant des angles de 109° a une grande flexibilité due à la possibilité de rotation.



Pour se former une idée de la dimension naturelle d'une chaîne polymérique, il faut résoudre le problème suivant. Ayant fixé le bout d'une chaîne dans l'origine, quelle est la distance moyenne probable de trouver l'autre bout de la chaîne? Un calcul

statistique indique que l'écart quadratique moyen $\bar{r}^2$ est donné par

$$\bar{r}^2 \propto n\ l^2$$

où n est le nombre d'éléments dans la chaîne et l est la distance effective qui sépare deux éléments voisins. Il importe peu que ce modèle représente mal une chaîne réelle. Par exemple, si la rotation autour des liaisons carbone-carbone est réduite par des effets stériques, on choisit le segment primaire et "l", sa longueur effective, d'une telle façon qu'on peut néanmoins appliquer la méthode statistique. Le fait saillant reste, c'est à dire la dimension d'une chaîne dépend de la racine carrée du nombre d'éléments (ou de la masse moléculaire).

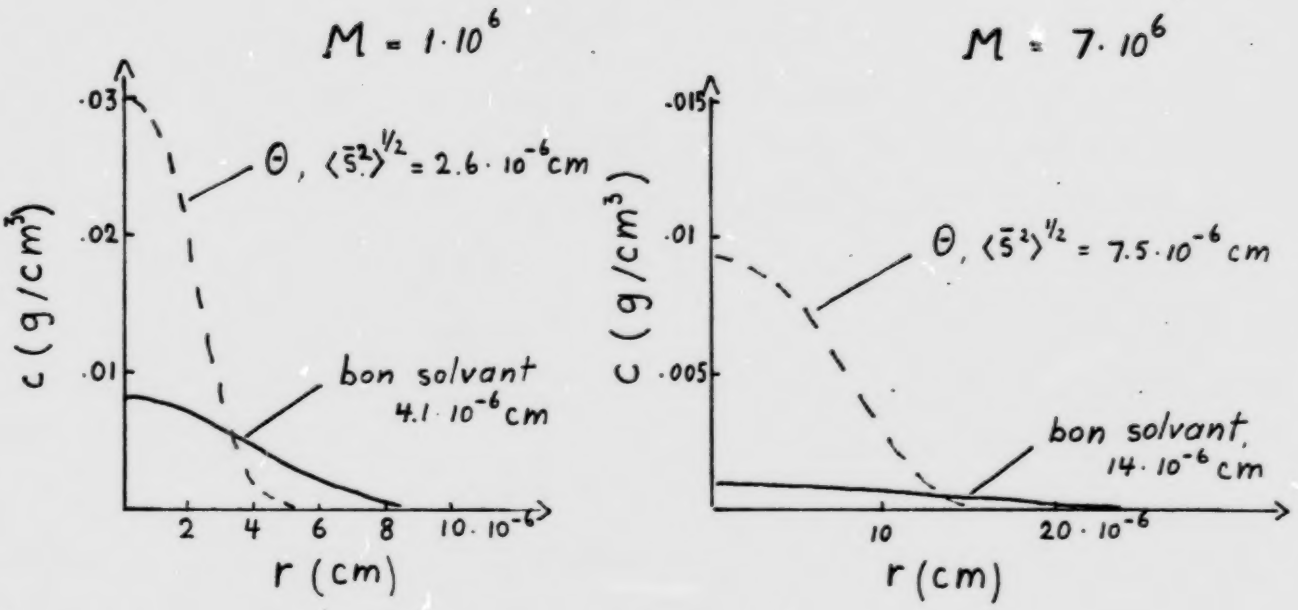
Plutôt que $\bar{r}$, on mesure le rayon de giration d'une chaîne $\langle \bar{s}^2 \rangle$, qui est la distance quadratique moyenne de tous les éléments du centre de gravité de la macromolécule. Pour une chaîne linéaire flexible:

$$\langle \bar{s}^2 \rangle = \frac{\bar{r}^2}{6} = \frac{n\ l^2}{6}$$

La distribution moyenne des éléments autour du centre de gravité est approchée par une courbe de Gauss. En terme de la concentration (g/ml)

$$C_r = \left(\frac{3}{2\pi \langle \bar{s}^2 \rangle} \right)^{3/2} \frac{M}{N_{AV}} \exp \left\{ \frac{-3r^2}{2 \langle \bar{s}^2 \rangle} \right\}$$

r étant la distance du centre de gravité de la molécule.



Les exemples donnés indiquent que la concentration des éléments d'une chaîne est très faible même au centre de la pelote. Il faut aussi remarquer que la concentration des éléments au centre est moins élevée pour les chaînes plus grandes. Un bon solvant pour un polymère gonfle la pelote macromoléculaire et réduit la concentration à l'intérieur de la pelote.

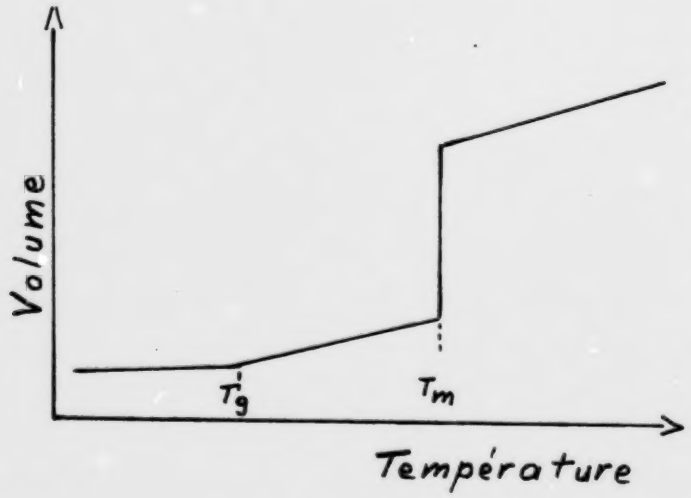
Une conséquence de ces faibles concentrations dans les pelotes des macromolécules est la nécessité de remplir l'espace inoccupé par les éléments d'autres macromolécules. Dans un polymère en masse ou dans des solutions très concentrées les molécules individuelles sont entrelacées et forment des enchevêt-

rements. Uniquement dans une solution très diluée les macromolécules se présentent à titre individuel.

Analyse physique. Propriétés des polymères en masse[8]

L'aspect et la performance d'un plastique dépendent fortement de l'état physique du polymère. On reconnaît, pour les polymères ordinaires, trois états. D'abord l'état vitreux et l'état fondu qui sont tous deux des formes de l'état liquide ou amorphe qui se caractérise par une très faible organisation dans la matière.

A l'état vitreux le volume libre est petit et change peu avec la température. La mobilité des chaînes est sévèrement réduite et les changements spatiaux entre les molécules sont très lents. Au contraire, au delà de la température de la transition vitreuse, le volume libre du polymère croît rapidement avec la température et la mobilité des molécules augmente; ce qui se traduit par une baisse importante de la viscosité à l'état fondu.



Le troisième état, l'état cristallin est caractérisé par une organisation spatiale étendue sur un grand nombre d'éléments. Il n'y a pas de polymère qui se laisse cristalliser parfaitement comme dans le cas des molécules de petite masse. Au contraire, beaucoup de polymères ne cristallisent pas du tout.

La calorimétrie différentielle à balayage est la méthode préférée pour l'étude de la transition vitreuse et de la température de cristallisation. En outre on peut étudier le degré et la cinétique de cristallisation. L'aspect cinétique des deux transitions ne peut être négligé parce que les propriétés ultimes des plastiques en dépendent.

1. J. Haslan, H.A. Willis et D.C.M. Squirrell, Identification and Analysis of Plastics, Iliffe Books, London, 2e Edition (1972). Butterworth & Co. Toronto.

2. D.O. Hummel, Infra-red Analysis of Polymers, Resins and Additives, An Atlas, 2 Volumes, Wiley Interscience N.Y. (1960).

3. L.J. Bellamy, The Infra-red Spectra of Complex Molecules, 2 Volumes, John Wiley & Sons, Inc. N.Y. 2e Edition (1960).

4a. F.W. Billmeyer, Textbook of Polymer Science, John Wiley & Sons, Inc. N.Y. 2e Edition (1971).

4b. P.J. Flory, Principles of Polymer Chemistry, Cornell University Press (1953).

5. J. Brandup et E.H. Immergut, Editors, Polymer Handbook, John Wiley and Sons, N.Y. 2e Edition (1975).

6. M. Kurata et W.H. Stockmayer, Adv. Polym. Sci., 3, 196(1964).

7. G. Champetier, Chimie macromoléculaire, 2 volumes, Hermann, Paris (1972).

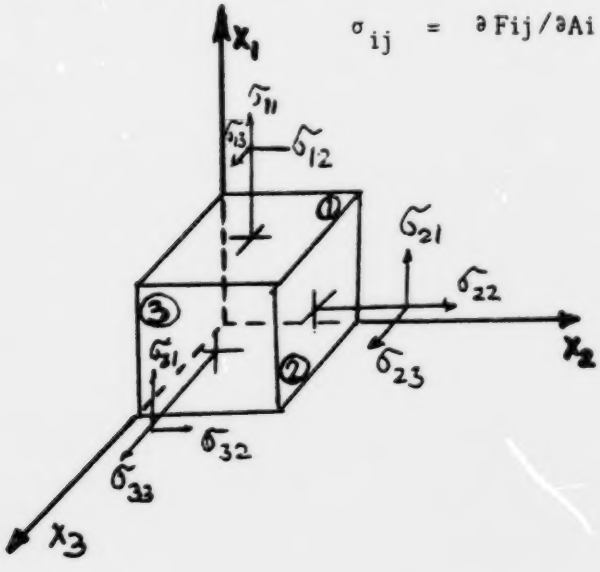
8. D.W. Van Krevelen, Properties of Polymers, their estimation and correlation with chemical structure, Elsevier, Amsterdam, 2e Edition (1976).

ECOULEMENT FLUIDE DES POLYMERES ET ROLE DANS LA MISE EN FORME

L.A. UTRACKI, IGM-CNRC, Montréal

I. CONSIDERATIONS FONDAMENTALES DE LA RHEOLOGIE

La rhéologie (rheo = écoulement, logos = science) est la science de l'écoulement et de la déformation de la matière, ou simplement la science des relations entre les forces extérieures et les déformations. Si on considère une "particule élémentaire de la matière ayant la forme d'un cube unitaire, les forces sont identiques avec les contraintes:



$$\sigma_{ij} = \partial F_{ij} / \partial A_i$$

$$\sigma_{ij} = \begin{pmatrix} \sigma_{11} & \sigma_{12} & \sigma_{13} \\ \sigma_{21} & \sigma_{22} & \sigma_{23} \\ \sigma_{31} & \sigma_{32} & \sigma_{33} \end{pmatrix}$$

$$\sigma_{KL} = \sigma_{LK}$$

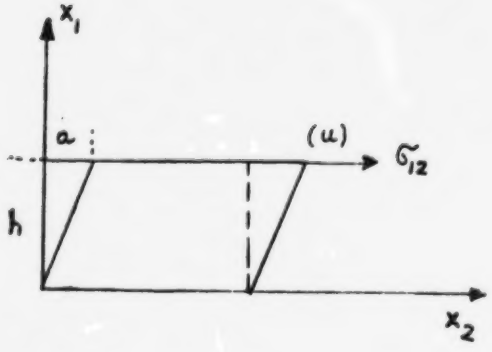
$$\sigma_{11} + \sigma_{22} + \sigma_{33} = 0$$

De la même manière on peut définir les déformations élémentaires, ou gradients du déplacement:

$$\gamma_{ij} = \Delta x_i / x_j$$

Dans tous les procédés industriels il y a trois modes de déformation principaux:

A. Cisaillement simple



$$\sigma_{ij} = \begin{pmatrix} \sigma_{11} & \sigma_{12} & 0 \\ \sigma_{12} & \sigma_{22} & 0 \\ 0 & 0 & \sigma_{33} \end{pmatrix}$$

$$\gamma_{ij} = \gamma = a/h$$

$$\frac{d\gamma}{dt} \equiv \dot{\gamma} = u/h$$

Selon Newton le coefficient de viscosité: $\eta \equiv \sigma_{12}/\dot{\gamma}$, ou $\dot{\gamma}$ est le taux de cisaillement. La première et la deuxième différence des coefficients de cisaillement normal, sont:

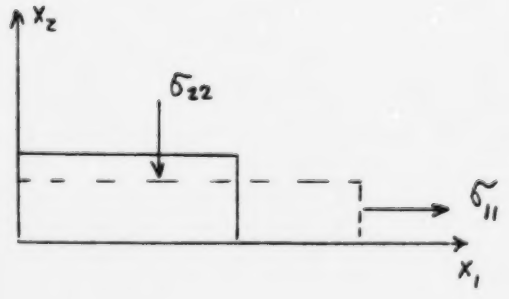
$$N_1 = \sigma_{11} - \sigma_{22} \quad (\geq 0)$$

$$N_2 = \sigma_{22} - \sigma_{33} \quad (\leq 0)$$

ou les coefficients normaux:

$$\psi_1 = N_1/\dot{\gamma}^2, \text{ et } \psi_2 = N_2/\dot{\gamma}^2$$

B. Elongation simple



$$\sigma_{ij} = \begin{pmatrix} \sigma_{11} & 0 & 0 \\ 0 & \sigma_{22} & 0 \\ 0 & 0 & \sigma_{33} \end{pmatrix}$$

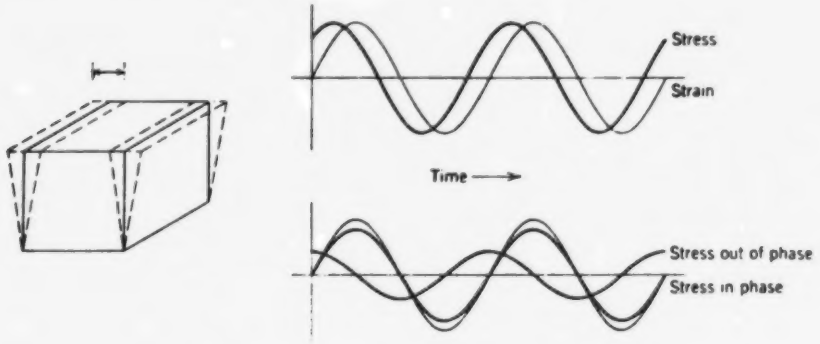
$$\dot{\gamma}_{ij} = \begin{pmatrix} \dot{\epsilon} & 0 & 0 \\ 0 & -\dot{\epsilon}/2 & 0 \\ 0 & 0 & -\dot{\epsilon}/2 \end{pmatrix}$$

Coefficient de viscosité en élongation simple:

$$\eta_E \equiv (\sigma_{11} - \sigma_{22})/3\dot{\epsilon}$$

C. Déformations périodiques

Le troisième mode de déformation des liquides c'est la déformation dynamique, ou oscillation. Le cas particulièrement simple c'est la déformation sinusoïdale:



$$\gamma_{12} = \gamma^{o}_{12} \sin(\omega t)$$

$\omega = 2\pi\nu$ est la fréquence en (radian/sec) et ν et le nombre des oscillations per sec (Hz)

$$\dot{\gamma} = \omega \gamma^{o}_{12} \cos(\omega t)$$

$$\sigma_{12} = \sigma^{o}_{12} \sin(\omega t + \delta)$$

i.e.: $$\sigma_{12} = \sigma^{o}_{12} [\sin(\omega t)\cos\delta + \cos(\omega t)\sin\delta]$$

a: si $\delta = 0$, $\sigma^{E}_{12} = \sigma^{o}_{12} \sin(\omega t)$ i.e. déformation et contrainte sont en phase et le matériel semble un solide élastique de Hooke avec le module

$$G'_{o}(E) = \sigma^{o}_{12} / \gamma_{12}$$

b: si $\delta = \pi/2$ (ou 90°) $\sigma^{v}_{12} = \sigma^{o}_{12} \cos\omega t$, i.e. dans ce cas la contrainte est en phase avec le taux de cisaillement comme dans un liquide visqueux de Newton. Par analogie avec G' on peut définir le module de "perte d'énergie":

$$G''_{o}(v) = \sigma^{o}_{12} / \dot{\gamma}_{12}$$

Pour le cas général (liquides viscoélastiques):

$$\left.\begin{aligned} G' &= (\sigma^{o}_{12}/\gamma^{o}_{12})\cos\delta \\ G'' &= (\sigma^{o}_{12}/\gamma^{o}_{12})\sin\delta \end{aligned}\right\} \tan\delta = G''/G'$$

$$\left.\begin{aligned} \eta' &= G''/\omega \\ \eta'' &= G'/\omega \end{aligned}\right\} \quad \eta^{*} = (G'^{2} + G''^{2})^{1/2}/2$$

II. DETERMINATION DES PARAMETRES RHEOLOGIQUES

A. Ecoulement en équilibre:

1. Viscosimètres capillaires (Severs, Instron, "Melt indexer", et al.)

$$\eta = \sigma^{w}_{12}/\dot{\gamma}^{w}_{12} \qquad \begin{cases} \sigma^{w}_{12} = D\Delta p/4L; & \dot{\gamma}^{a}_{12} = 32Q/\pi D^{3} \\ \dot{\gamma}^{w}_{12} = \left(\dfrac{3n+1}{n}\right)\dot{\gamma}^{a}_{12}; & n = d\ln\sigma^{w}_{12}/d\ln\dot{\gamma}^{a}_{12} \end{cases}$$

où

D, L sont le diamètre et la longueur du capillaire

Δp la différence des pressions (corrigée) sur le capillaire

Q la vitesse volumétrique d'écoulement

On peut faire aussi la mesure du N_1 ou ψ_1, par détermination du "gonflement de la filière" $B \equiv D_e/D$

$$\psi_1 \dot{\gamma}_{12}/2\,\eta = [\,2\,(B^{6} - 1)\,]^{1/2}$$

2. Rhéomètres en rotation (Hooke, Weissenberg, Rheometrics). Ici, il y a trois modes d'écoulement et les calculs sont dans les trois cas différents: **(a)** écoulement Couette entre deux cylindres, **(b)** écoulement entre cône et plaque, et **(c)** écoulement entre deux disques en parallèle. La méthode **(a)** est utilisé seulement pour les liquides de basse viscosité ou pour faire les mesures dans la zone des $\dot{\gamma}_{12}$ assez élevées. La méthode **(b)** permet les mesures dans le champ de déformation uniforme:

$\dot{\gamma} = \omega / \beta$ (β = l'angle du cône)

du: $\sigma_{12} = 3M/2\pi R^3$ (M = torque)

et du: $N_1 = F/\pi R^2$ (F = force normale)

La méthode (c) est appliquée rarement, principalement pour les liquides Newtoniens ou η ne change pas avec $\dot{\gamma}$.

B. Ecoulement dynamique

Principalement deux types d'équipement sont utilisés: en rotation avec les disques parallèles et en pulsation entre deux cylindres. Le premier est plus populaire (Weissenberg, Rheometrics). Les résultats sont donnés en G', G" ou η', η''. La méthode est simple, très commode et applicable pour les matériaux non-homogènes. Souvent on fait les mesures avec la contrainte $\gamma \leq 10\%$

ou $\gamma = 100R\ \alpha/h$ (h - séparation des disques, α - angle d'oscillation)

i.e. $\alpha \doteq 1^o$

III. PROPRIETES DES LIQUIDES

A. Variabilité avec: (a) T - température
(b) P - pression
(c) t - temp
(d) $\dot{\gamma}$ - taux de cisaillement

(a) Arrhenius:

$$\ln \eta = A + B/T$$

Vogle, WLF

$$\ln \eta = A + B/(T-C)$$

ou A, B, C sont constants.

(b) Volume libre approche:

$$\ln \eta = A\ (P - B)$$

ou

$$\ln \eta = A + B/(C - DP)$$

ou A, B, C, D sont constants.

(c) liquide idéal – il n'y a pas dépendance de la t^{o}
liquide rheopectic – η augmente avec t pendant le cisaillement constant $\dot{\gamma}$ = const.
liquide thixotropic – l'inverse du rheopectic

(d) liquide Newtonien – η indépendant de $\dot{\gamma}$
liquide pseudoplastique – η décroissant avec $\dot{\gamma}$ (polymères et plastiques)
liquide dilatant – η augmente avec $\dot{\gamma}$
liquide avec limite de résistance σ_y – on observe l'écoulement seulement si $\sigma_{12} > \sigma_y$

B. Les effets rhéologiques:
(a) Weissenberg
(b) Barrus
(c) résonance d'extrusion
(d) distortions viscoélastiques
(e) profil d'écoulement
(f) crystallisation par cisaillement

IV. APPLICATION DE LA RHEOLOGIE DANS LES PROCEDES INDUSTRIELS DES PLASTIQUES.

Il y a trois raisons pour faire les mesures rhéologiques:

A. Caractérisation du polymère (poids moléculaire, branchement, structure, tacticité, réticulation, etc.)

B. Développement et optimisation du procédé (e.g. optimisation: de la vis ou de la filière pour une boudineuse et pour une matière donnée, du matériel, des conditions de la fabrication; développement du: produit, procédé ou formulation; contrôle de la qualité pendant la fabrication).

C. Caractérisation et optimisation de la performance du produit. Les mesures viscoélastiques et mécaniques dans la zone des températures pour étudier la structure moléculaire, les contraintes résiduelles, homogénéité du matériel, dégradation, crystallisation et les autres paramètres.

NOTES SUR LES PROCEDES DE TRANSFORMATION DES POLYMERES

Ian Patterson, Ecole Polytechnique

Extrusion

L'extrusion est un procédé connu industriellement depuis plus de 100 ans mais la première théorie de son opération n'était développée qu'en 1952. Depuis, plusieurs raffinements ont été ajoutés et aujourd'hui, le design des boudineuses est souvent assisté par ordinateur. Ceci n'est pas pour dire que l'extrusion est un procédé connu dans tous ses détails - il y a toujours des améliorations possibles à notre connaissance (et au procédé) mais les principes sont bien établis.

L'extrusion combine, en réalité, trois procédés: le transport des solides, la fusion du polymère et le pompage du polymère fondu. Ces trois procédés ont lieu simultanément dans la boudineuse (voir figure 1). La modélisation détaillée d'extrusion est difficile car les trois procédés sont couplés, c'est-à-dire qu'un changement dans le transport de solides se manifeste dans les deux autres procédés et vice-versa. La boudineuse est construite de manière à ce que les dimensions de la vis d'Archimède varient et on distingue trois zones. Chacune de ces trois zones favorise un des procédés précités et sont appelés: section transport, section fusion et section pompage.

En pratique, une boudineuse est normalement opérée de telle façon que:

$$r_t \gg r_f \gg r_p$$

où r_t = le débit massique dans la section transport
r_f = le débit massique dans la section fusion
r_p = le débit massique dans la section pompage

et on dit que la section pompage est celle de contrôle et dans une grande mesure, les sections sont découplées. Dans ce cas, le comportement de la boudineuse est déterminé par la zone de pompage. L'analyse de cette zone est normalement faite en "dépliant" le canal formé par le baril et les filets de la vis et la géométrie est indiquée dans la figure 2. Aussi, on considère que la vis est stationnaire et le baril est tourné. Ces hypothèses simplificatrices ainsi que l'équation du mouvement de fluide:

$$\rho_m \left(v_x \frac{\partial v_z}{\partial x} + v_y \frac{\partial v_z}{\partial y}\right) = - \frac{\partial P}{\partial z} + \mu \left(\frac{\partial^2 v_z}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v_z}{\partial y^2}\right) \qquad (1)$$

nous amènent à l'expression suivante pour un polymère Newtonien en écoulement isothermal:

$$Q = \frac{\pi DNWH}{2} F_d + \frac{WH^3}{12\mu} \left(-\frac{\Delta P}{\Delta z}\right) F_p \qquad (2)$$

où $F_d = \frac{16W}{\pi^3 H} \sum_i \frac{1}{i^3} \tanh\left(\frac{i\pi H}{2W}\right)$ }i impair

$$F_p = 1 - \frac{192H}{\pi^5 W} \sum_{i} \frac{1}{i^5} \tanh\left(\frac{i\pi H}{2W}\right) \quad i \text{ impair}$$

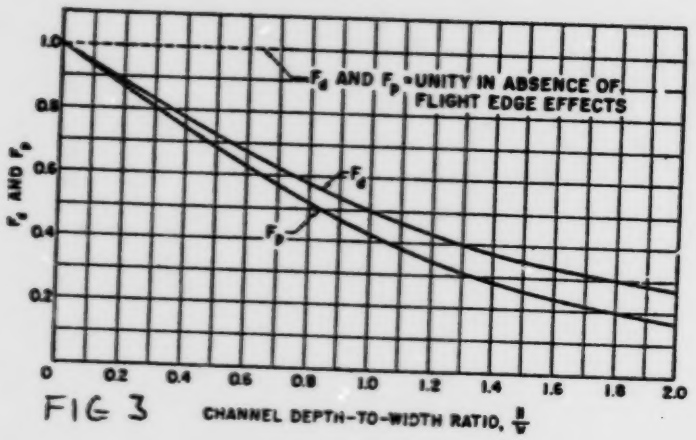


FIG 3

L'équation (2) est souvent présentée dans la littérature scientifique en forme simplifiée comme:

$$Q = \alpha N - \frac{\beta}{\mu} (\Delta P) \qquad (3)$$

qui représente la relation entre le débit, Q, la vitesse rotative de la vis, N, et la pression à la sortie, ΔP, pour une boudineuse précisée.

La pression, ΔP, générée à la sortie de la boudineuse est la pression qui détermine le débit dans la filière, exprimé comme

$$Q = \frac{K_d \Delta P}{\mu} \qquad (4)$$

où K_d est une constante caractéristique de la filière. Quand on trace (équations (4) et (3) ou (2)) sur le même graphique, on obtient "le diagramme d'opération comme la figure 4 ci-dessous.

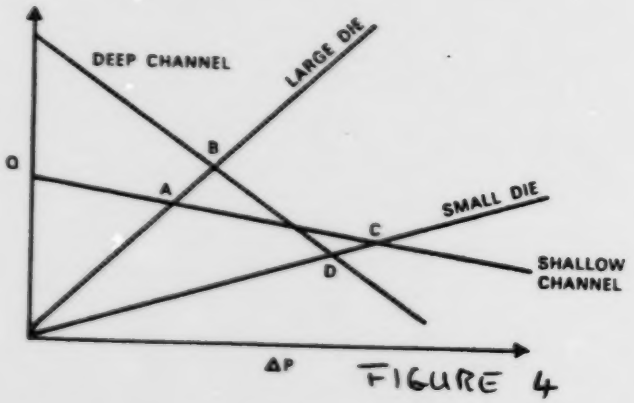


FIGURE 4

Souvent, les conditions d'opération d'une boudineuse sont telles que l'hypothèse d'isothermalité n'est pas valable. L'analyse utilisée pour ce cas suppose qu'il n'y a ni perte ni gain de chaleur de l'extérieur, donc l'opération est "adiabatique". La

température va varier le long de la zone pompage à cause de la dissipation visqueuse. L'analyse est basée sur un bilan énergétique.

$$de_m = QC_v dT + QdP$$
$$= de_{vis} + de_p + de_K \qquad (5)$$

mais

$$de_{vis} + de_p = \left[\int_o^W \mu \frac{\partial V_z}{\partial y} V_b dx + \int_o^W \mu \frac{\partial V_x}{\partial y} V_{bx}\, dx\right] dz \qquad (6)$$

On a besoin d'une expression pour la viscosité en fonction de la température pour intégrer l'équation (6):

$$\mu = \mu_o 2^{-a(T - T_o)} \qquad (7)$$

où μ_o = la viscosité à l'entrée de la section
T_o = la température à l'entrée de la section

L'intégration de l'équation (6) avec l'équation (7) donne:

$$T - T_o = -\frac{1}{a} \ln\left[1 - \frac{a\pi^2 ND^2 \mu_o \frac{W}{H}(1 + 3\sin^2\theta)}{QC_v}(z - z_o)\right] \qquad (8)$$

Equations (8) et (4) permettent la solution itérative pour la température et le débit. On note que McKelvey*a trouvé une méthode graphique pour la solution de (8).

Le fonctionnement de la boudineuse quand l'inégalité (1) n'est pas respectée est très compliqué à modeliser et on est obligé d'utiliser les méthodes numériques. Le lecteur est référré au livre de Tadmor et Klein** pour les détails ainsi que pour une discussion du mixage effectué dans une boudineuse.

Moulage par injection

Le moulage par injection est un procédé cyclique utilisé pour former les articles tri-dimensionnels. Il est bien caractérisé par la variation de pression pendant le cycle. On voit à la figure 5 les étapes de remplissage, tamponnement et refroidissement. L'étape de tamponnement est très important pour compenser le rétrécissage pendant la solidification et refroidissement du polymère.

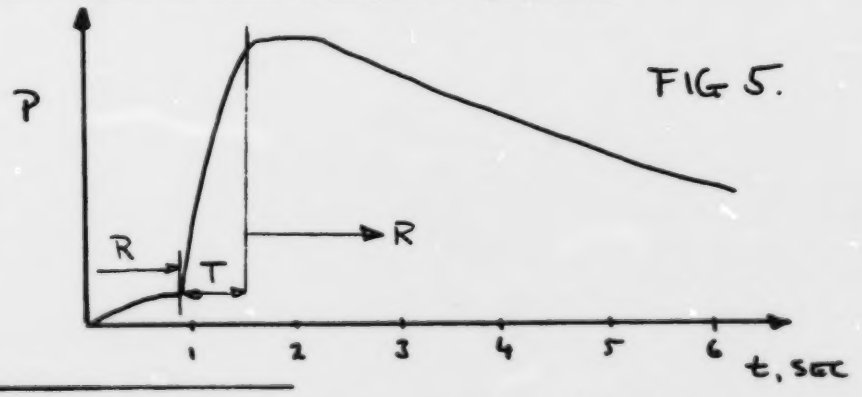


FIG 5.

* McKelvey, M.M., Polymer Processing, Wiley (1962), chp. 10.

** Tadmor, Z. et Klein, I., Engineering Principles of Plasticating Extrusion, Wiley, New York (1970).

$$S_V = \frac{V^* - V}{V} \qquad (9)$$

V^* = volume de la cavité
V = volume du polymère
S_V = rétrécissage volumique

L'analyse de l'étape de remplissage est important car plusieurs des propriétés de l'article sont déterminées par le débit de remplissage. Le cas simple de remplissage d'une cavité en forme d'un disque sera considéré. L'équation hydrodynamique est:

$$\frac{r}{\mu}\frac{\partial p}{\partial r} = \frac{\partial^2 c}{\partial z^2} = A(t) \qquad (10)$$

L'intégration de (10) nous donne:

$$p - P_o = A\mu \ln\left(\frac{2r}{D_c}\right) \qquad (11)$$

avec $A = -\frac{3Q}{4\pi H^3}$

où D_c = le diamètre de la carotte

Typiquement, l'injection est faite avec une pression hydraulique constante, donc $P_o \approx$ cste mais Q varie car la résistance à l'écoulement augmente selon la quantité de polymère dans la cavité. La relation entre Q et la position de l'interface polymère-air, r, est:

$$Q = \pi 4 \int_o^H r v_r dz \qquad (12)$$

On peut intégrer (12) et avec (10) et (11), trouver le temps pour remplir la cavité ($r = R$).

$$t_f = \frac{3\mu R^2}{4H^2 P_o}\left[\left(\frac{D_c}{R}\right)^2 - 2 - \ln\left(\frac{D_c}{R}\right)\right] \qquad (13)$$

Le remplissage de la cavité circulaire de faible épaisseur est important car l'écoulement radial se produit dans les cavités (ou les sections de faibles épaisseurs des cavités) même si le plan de la cavité n'est pas circulaire.

L'étape de refroidissement du polymère fondu est important car le transfert de chaleur dans un polymère n'est pas rapide dû à sa faible conductivité thermique. Le problème de molélisation est rendu difficile car on a trouvé, expérimentalement, qu'il y existe une résistance de transfert de chaleur, h_p, entre le métal du moule et le polymère.

La chaleur à enlever est:

$$Q_t = V_\rho C_p (T_i - T_f) \qquad (14)$$

et le coefficient de transfert par unité de longueur est:

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{Sk_m} + \frac{1}{Dh} + ff + \frac{1}{hp} \qquad (15)$$

Le transfert de chaleur est donc:

$$Q = UA\,(T_s - T_r) \qquad (16)$$

où $T_s = T_s\,(t)$

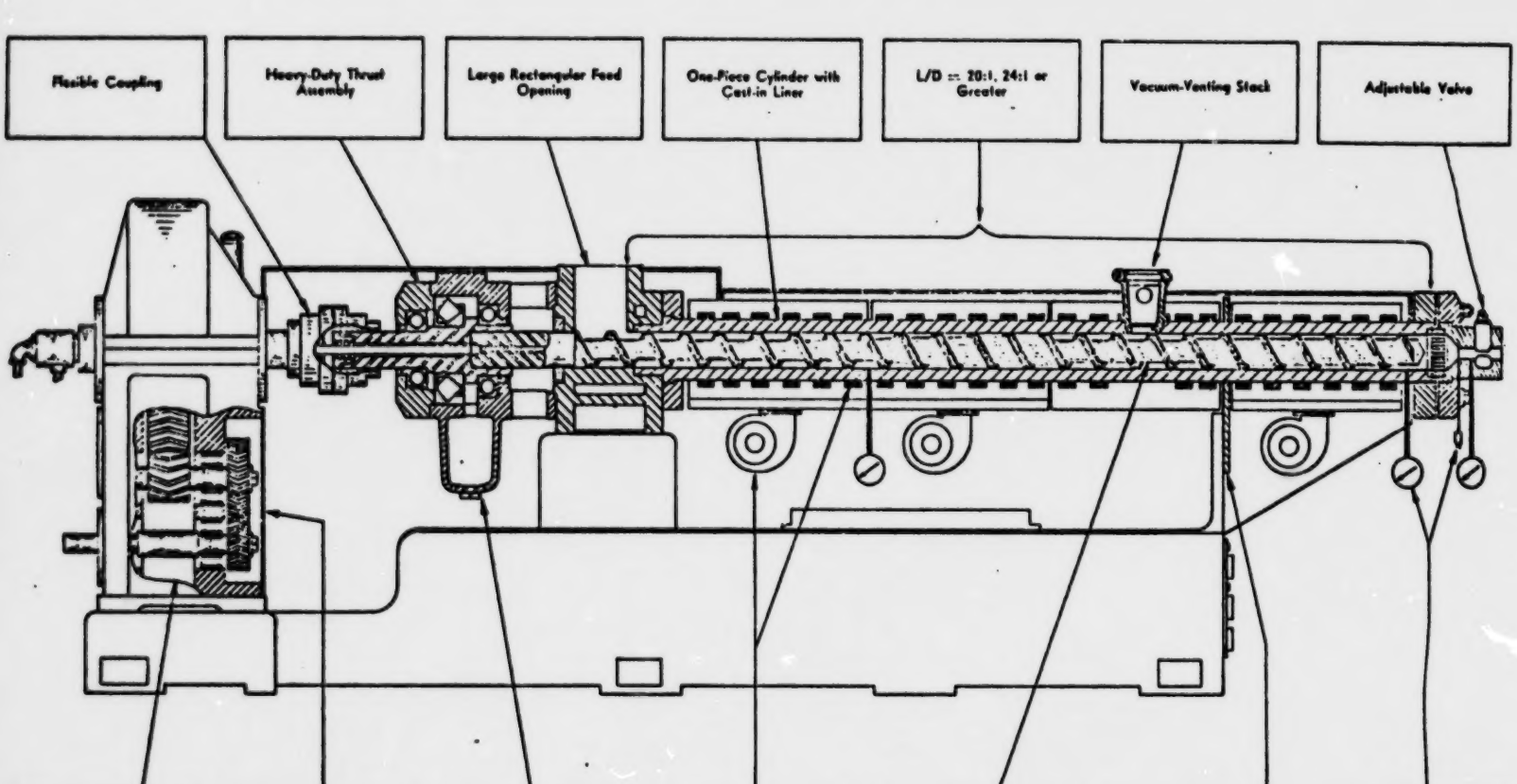
En effet, le système d'équations (14), (15) et (16) est très dépendant de la géométrie et on est obligé d'utiliser les méthodes numériques pour le résoudre.

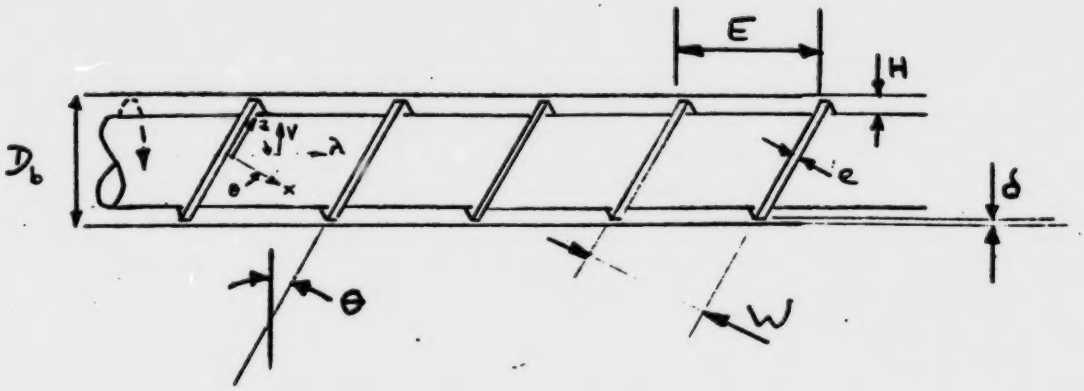
Le moulage par soufflage

Le moulage par soufflage est un procédé de fabrication des articles vides à l'intérieur dont les bouteilles sont un excellent exemple. Le procédé est cyclique: une boudineuse est la source d'un corps creux (parison) qui est ensuite enfermé dans un moule (voir figure 6). aiguille d'insufflation d'air est insérée à l'intérieur du corps creux et l'air injecté gonfle le polymère et il prend la forme du moule où il est refroidi par le moule.

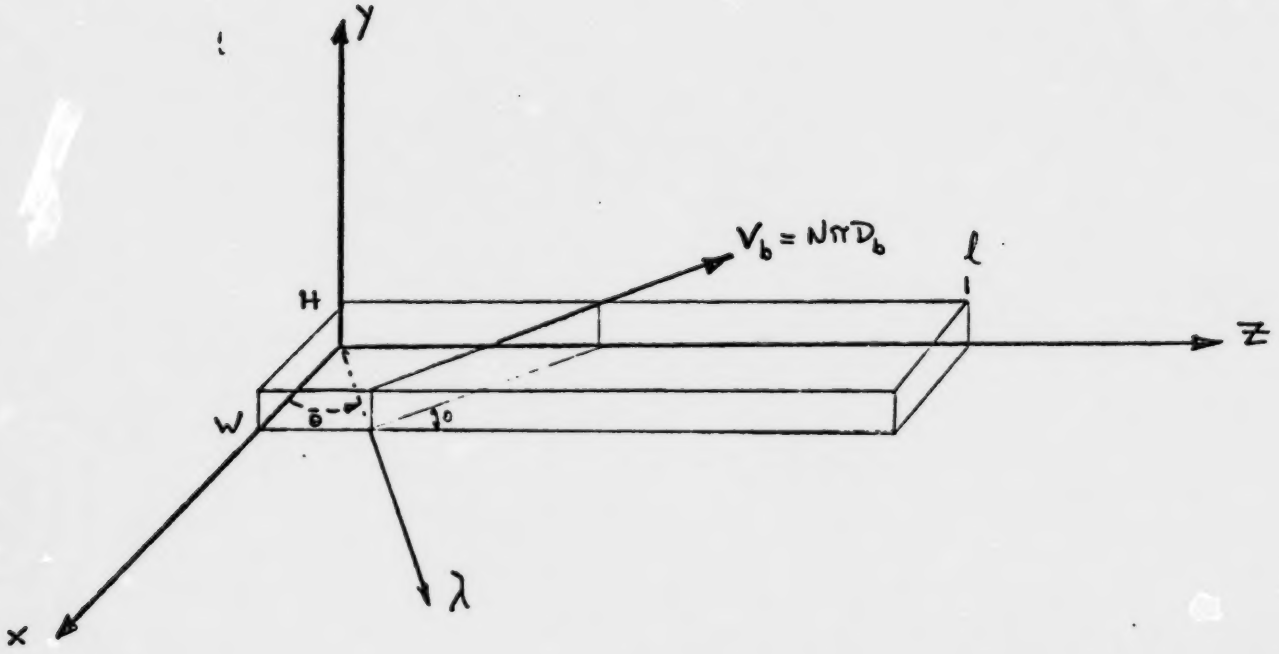
La formation du corps creux est dépendant du procédé d'extrusion donc susceptible à la modélisation mais il reste deux problèmes à résoudre: la prédiction de l'épaisseur de la paroi de l'article et le temps requis pour refroidir le polymère fondu. Le temps de refroidissement dépend de l'épaisseur de la paroi et du coefficient de transfert de chaleur entre le polymère et le métal du moule. Actuellement, on attaque le problème de prédiction de l'épaisseur de la paroi: le problème de transfert de chaleur est semblable à celui de moulage par injection.

FIG 1: EXTRUDER



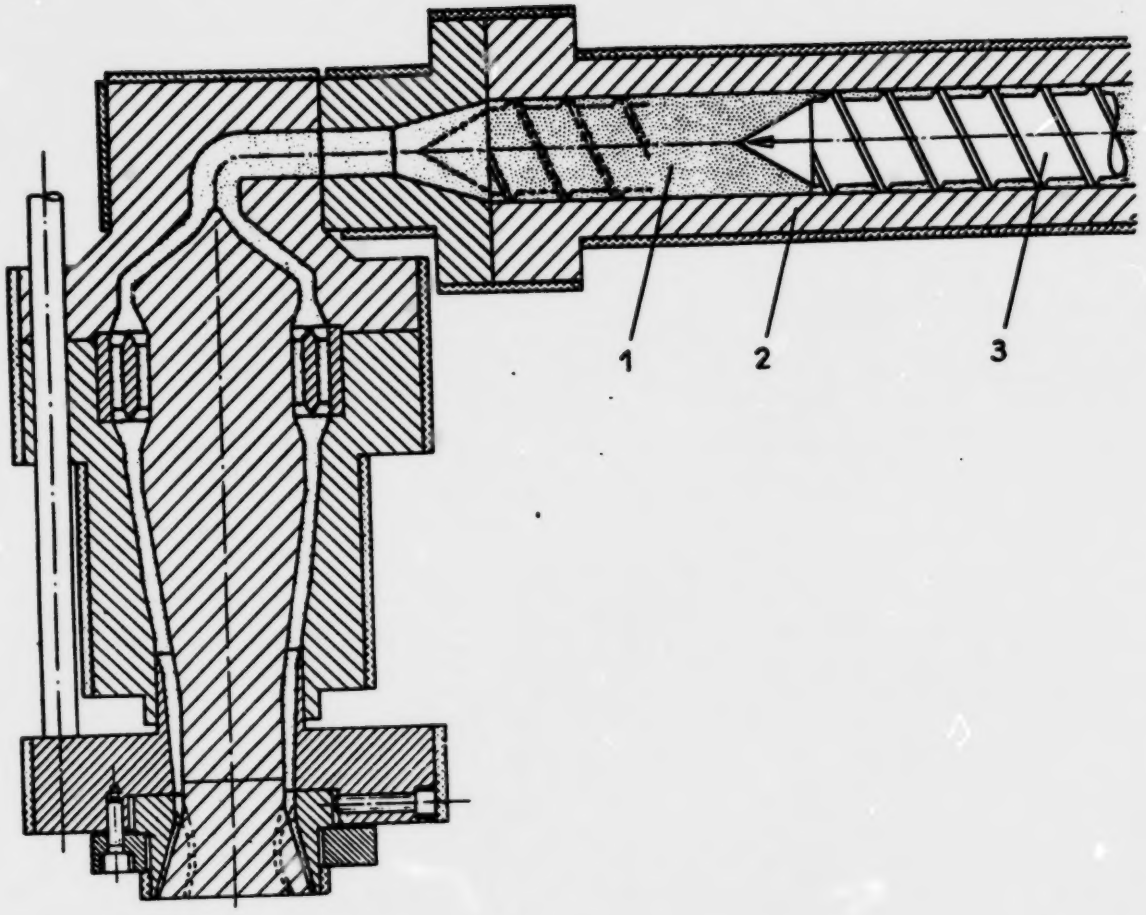


$\theta = 17.7°$ quand le pas $E = D_b$ (pas carré)



H = profondeur du canal
δ = espace entre les fillets de la vis et le baril
W = largeur du canal
D = diamètre interieur du baril
l = longueur du canal
e = epaisseur des fillets
E = pas de la vis
θ = angle des fillets

FIGURE 2



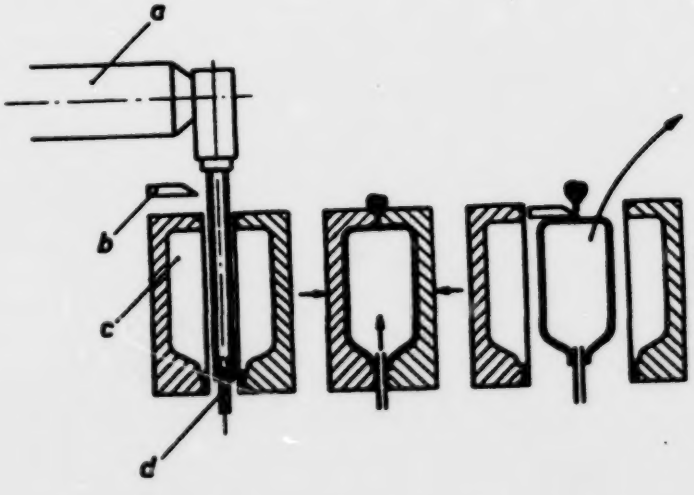


FIGURE 6

ASPECTS ECONOMIQUES DES OPERATIONS DE FABRICATION DES PRODUITS EN MATIERE PLASTIQUE

A.M. Catani / IGM - Montréal

1. Introduction

2. L'industrie canadienne de transformation des plastiques - Profil de secteur (a)

3. L'industrie du plastique au Canada

4. Aspects économiques des transformateurs.

(a) Extrait du Rapport du Groupe d'Etude sur l'Industrie Canadienne des Plastiques.

INTRODUCTION

L'industrie du plastique est un maillon essentiel de la chaîne des industries qui débute par le pétrole et le gaz, passe par la transformation des produits pétro chimiques de matière plastique et se termine par une myriade de produits nécessaires aux consommateurs canadiens.

L'industrie de transformation des plastiques traite d'un secteur de l'industrie canadienne constitué de 1400 établissements manufacturiers qui fabriquent des produits pour un marché dont la valeur dépassait $3,5 milliards en 1980.

L'INDUSTRIE DU PLASTIQUE AU CANADA -1980

	Etablissements	Employés
Pétro chimiques-production des résines	27 (usines)	5000
Fabricants-moules, filières	200-215	1800-2000
Transformateurs-manufacturiers	1400	50 000

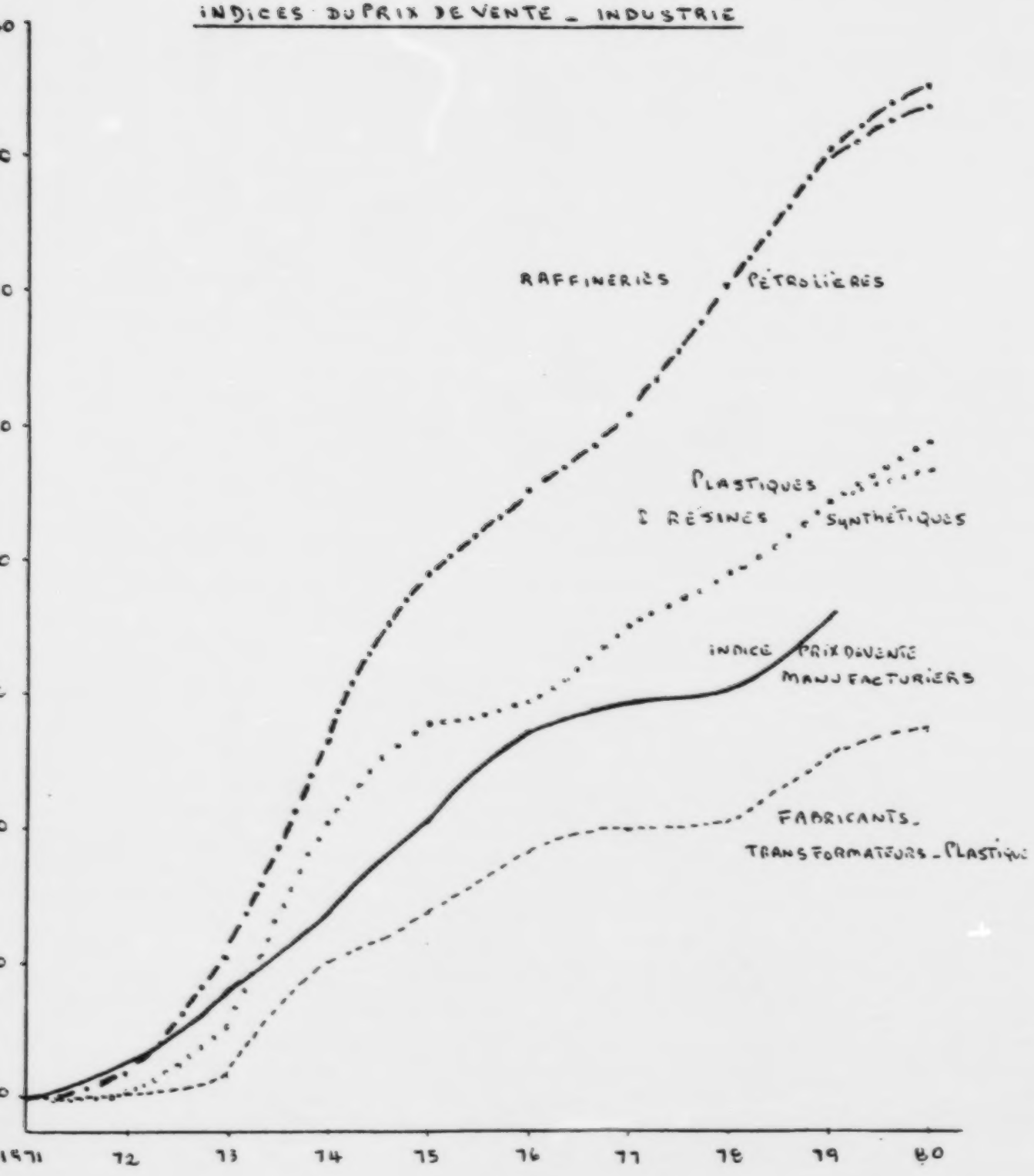
Ontario 56%
Québec 25%
81% ——— 90% (45000)

91 % livraison totale de produits plastiques (+ $3,5 milliards)

ENVERGURE DE L'INDUSTRIE DE TRANSFORMATION DES PLASTIQUES DANS QUELQUES PAYS -1977

Nombre d'employés	% D'établissements				
	Canada	Etats-Unis	France	Japon	Allemagne
1-9	24,6	40	68,8	70,1	45,9
10-49	51,8	35		24,4	34,1
50-99	11	13	15,5	3,2	9,4
100-499	12,2	10	12,6	2,2	9,6
500-999	0,4	1	2,7	0,1	0,7
1000 et plus	0	1	0,4		0,3
Total	100	100	100	100	100
Entreprises	1400	8000	1300	19708	4430
Employés	45000	360000	84000	228570	201640
employés/ entreprises	32	45	65	12	45
Ventes $/ employés	44773	64200	-	51667	49394

INDICES DU PRIX DE VENTE - INDUSTRIE



PROPORTION TYPIQUE DES COÛTS DE FABRICATION, %

	EXTRUSION	MOULAGE-INJECTION
Matières premières (Raw Materials)	55-80	35-60
Main d'oeuvre - production (Production labour)	6-8	6-10
Coûts fixes (a)	20-30	25-40
Coûts variables (b)	5-8	7-10

(a) Administration
Frais de vente
Dépréciation

(b) Entretien
eau, électricité, etc.
Approvisionnement

REDUCTION DU COUT DES MATIERES PREMIERES

1. Achat d'un silo

2. Achat des résines vierges et des mélanges-maîtres (concentrés)

3. Mélange de résine vierge et de charge inerte.

REDUCTION DU COUT DE LA PRODUCTION

1. Augmentation du rendement de la machine

2. Augmentation du temps de production d'un produit

3. Planification et cédule de l'entretien dans l'usine.

AUTRES METHODES DE REDUIRE LE COUT DE LA FABRICATION

1. Système de refroidissement central

2. Microprocesseurs

3. Système électronique avec ultrason ou radiation pour le contrôle de l'épaisseur du produit extrudé.

REDUCTION DU COUT DES MATIERES PREMIERES

1. Achat d'un silo - Usine d'extrusion

PEBD (vierge) - Tuyaux de pression ACNOR

Coût, ¢/Li = Vrac (silo) 40,000 Li et plus = 53.2
Sacs = 56.3

Réduction de 3.1¢/Li (5.5%)

1 million de livres = $31,000 d'épargne

coût d'un silo = $30,000

2. Achat de résine vierge et de mélange-maître (concentré)

PEBD - Tuyaux de pression ACNOR

Coût, ¢/Li : Compound noir PEBD = 68.6

Résine vierge PEBD = 53.2 + $\frac{\text{concentré}}{\text{noir}}$ - 3.4

= 56.6

Réduction de 12¢/Li (17.4%)

3. Mélange de résine et de charge inerte

CPV rigide en poudre + $CaCo^3$

CPV rigide formulé : 35¢/Li

$CaCo^3$	:	7¢/Li	10¢/Li
CPV + 25% $CaCo^3$	=	28	28.75
CPV + 40% $CaCo^3$	=	23.8	25

REDUCTION DU COUT DE PRODUCTION

1. Augmentation du rendement de la machine (OUTPUT)

Coût de conversion (extrudeur): $50./hre -
Production tuyaux pression

300Li/hre	16.67¢/Li	(PEBD - Tuyaux pression ACNOR 55¢/Li
400	12.50	Régulier 45¢/Li
500	10.00	
800	6.25	

2. Augmentation du temps de production d'un produit (Production Run)

Extrusion - feuilles 30" de largeur

Production	Coût ¢/Li
1,000 Li	27
10,000	13
20,000	10

3. Planification et cédule de l'entretien d'une usine

Sondage - RFA - 168 usines de moulage-injection

Perte de temps moyen (production) 9%

causes:

Perte de temps — machines & moules

	%
système de plastification	23.5
moules	32
système de fermeture	
- hydraulique	12.5
- mécanique	17.5
autres	14.5

	Entreprises	Perte de temps
Planification et cédule d'entretien	oui	4.5%
	non	12%

maintenance obligatoire

DOCUMENTS PERTINENTS SUR L'INDUSTRIE DES PLASTIQUES

1- Rapport statistique de l'Industrie de la Fabrication des Plastiques au Canada,Ministère de l'Industrie et du Commerce,Direction des Produits Chimiques Ottawa 1976.

2- Rapport du Groupe d'études sur l'Industrie Canadienne des Plastiques, M. A.G. Moreton,Président Juin 1978.

3- Réponse du Gouvernement Fédéral suite aux Recommendations du Groupe de Travail sur l'Industrie Canadienne des Plastiques Mai 1979.

4- Facts and Figures of the Plastics Industry,1980 edition, The Society of the Plastics Industry,Inc.

PROFIL DE SECTEUR

L'INDUSTRIE CANADIENNE DE TRANSFORMATION DES PLASTIQUES

Ce profil de secteur a été établi par le Groupe d'étude sur l'industrie canadienne des plastiques à partir d'un profil préparé par le ministère fédéral de l'Industrie et du Commerce.

L'INDUSTRIE DE TRANSFORMATION DES PLASTIQUES

STRUCTURE

Définition

L'industrie de transformation des plastiques englobe des sociétés spécialisées dans la transformation des matériaux, des profilés ou autres formes plastiques, et en produits ou en pièces finis. Elle emploie des méthodes typiques de transformation des plastiques telles que: refoulage, moulage par injection, thermoformage, et soufflage. Les sociétés qui transforment les matières plastiques selon la méthode décrite ci-dessus sont réparties en plus de 40 classes SIC à trois chiffres, dont une (SIC-165) représente l'industrie de fabrication d'articles en matière plastique. Environ la moitié des expéditions de l'industrie appartiennent à la catégorie SIC-165*. Les sociétés de transformation des plastiques travaillent dans des domaines aussi divers que le refoulage des pellicules et des feuilles, la fabrication des fils et des câbles, la fabrication des automobiles et des bateaux; elles ont comme point commun l'utilisation des résines synthétiques et les techniques de transformation des plastiques.

Les pratiques commerciales de l'industrie se divisent, de façon générale, en trois catégories. Certaines sociétés de transformation des plastiques fabriquent et vendent leurs propres produits spéciaux, d'autres fabriquent des articles sur commande; d'autre part, l'activité de certains spécialistes de ce domaine ne constitue qu'un élément des activités d'une société importante. Bien que bon nombre d'établissements exercent plus d'une activité commerciale, pour 58% d'entre eux, la majeure partie de leur volume de ventes provient des produits spéciaux; 17% produisent en grande partie sur commande et 10% fabriquent des produits consommés par leur entreprise. Il est difficile de donner les caractéristiques des autres sociétés à cause de la variété de leurs activités commerciales.

Produits et marchés

Les produits en matière plastique s'utilisent dans tous les secteurs de l'économie. Les principaux marchés ainsi que la proportion de la consommation canadienne totale des résines de plastique de chacun de ces marchés, pour 1975, figurent dans le tableau suivant:

Marché	*Proportion de la consommation totale des résines de plastique** %	*Produits typiques*
Emballage	36	Sacs de lait
Construction	19	Isolation
Fournitures pour utilisation privée et commerciale	9	Coussins
Transport	7	Matériel pour finition d'intérieur de voiture
Industrie et services publics	5	Tuyauterie et canalisation Gaines pour fils ou câbles
Loisirs	5	Coques de bateaux
Communications et électronique	5	Téléphone, housses pour les machines commerciales
Agriculture	4	Tuyaux de drainage
Vaisselle jetable	3	Ménagères, tasses, bols
Articles ménagers	3	Poubelles
Autres	4	Valises, enseignes
	100	

* Résine traitée par les fabricants canadiens en 1975

* Le présent profil se fonde en grande partie sur les données que renferment les études suivantes du ministère de l'Industrie et du Commerce: L'industrie canadienne de transformation des plastiques et Profil statistique de l'industrie canadienne de transformation des plastiques. En outre, les données de Statistique Canada pertinentes à l'industrie de fabrication d'articles en matière plastique (SIC-165) ont été grandement utilisées.

Nombre et envergure des sociétés

Au Canada, il existe approximativement 1400 établissements dans le secteur de la transformation des plastiques. Environ 60% d'entre eux ont un chiffre de vente annuel inférieur à $1 million. Malgré cela, les sociétés dont le chiffre de vente atteint $2,5 millions et plus fournissent 73% des expéditions industrielles et 60% du total des emplois.

Répartition en fonction de l'importance des sociétés (1974)

Valeur des expéditions par établissement	*Proportion des établissements*	*Proportion de l'emploi*	*Proportion de la valeur totale des expéditions*
($000)	%	%	%
Moins de 250	26	5	2
250 à 999	32	15	9
1000 à 2499	21	21	16
2500 à 4999	11	18	20
5000 et plus	10	41	53
	100	100	100

Répartition géographique

L'industrie est hautement concentrée au Québec et en Ontario, tel que le démontre le tableau suivant:

Emploi et valeur des expéditions par région (1974)

Région	*Établissements*	*% du total Emploi*	*Valeur des expéditions*
Canada	100	100	100
Provinces de l'Atlantique	3	2	2
Québec	25	24	24
Ontario	56	66	67
Provinces des Prairies	8	5	6
Colombie-Britannique	8	3	1

Dans toutes les régions, les produits spéciaux constituent la majeure partie des expéditions.

Rendement et spécialisation

Dans le cadre de l'étude d'économie comparée qui porte sur l'industrie de la transformation des plastiques du Canada et celle des États-Unis, les effets du rendement ont été examinés. En ce qui concerne cette industrie, un meilleur rendement est généralement atteint par l'addition de machines. Dans ce cas, les coûts unitaires ne diminuent pas de façon appréciable bien que les frais généraux soient répartis sur une plus grande production. Par ailleurs, le rendement peut également être augmenté en remplaçant un certain nombre de petites machines par une grosse machine. Dans de tels cas, lorsque le potentiel de production est pleinement utilisé, si l'on compare le coût du fonctionnement d'une grosse machine à celui d'un certain nombre de petites machines, on constate que d'importantes réductions de coûts peuvent se réaliser, mais l'exploitation devient moins souple. Toutefois, il semble que les dimensions des machines utilisées au Canada et aux États-Unis soient comparables. Par conséquent, sur le plan de la concurrence, l'avantage que marque l'industrie américaine sur l'industrie canadienne, comme nous l'avons vu sous la rubrique "Compétitivité internationale", n'est pas dû à une différence de rendement.

Un autre aspect du rendement est la productivité de la société ou l'envergure de celle-ci. Comme nous venons de le voir, 60% des sociétés canadiennes ont un chiffre de ventes inférieur à $1 million. Ces sociétés, en général, sont administrées par leur propriétaire et ne possèdent pas les ressources nécessaires pour financer des spécialistes en commercialisation, en comptabilité ou en techniques.

La spécialisation est un facteur très important dans le domaine des coûts de l'unité. Aux États-Unis, le marché est si important qu'une machine peut être consacrée à la production d'un seul produit. Au Canada, étant donné les dimensions du marché et le nombre de sociétés, la plupart des entreprises sont obligées d'utiliser la même machine pour fabriquer plusieurs produits. Par conséquent, le coût de l'outillage est plus élevé; les travaux d'entretien sont plus nombreux; les modifications à apporter à la machine pour la fabrication d'un autre produit font perdre beaucoup de temps; les pertes de matériaux sont plus élevées; enfin, la productivité est réduite à cause d'un manque d'expérience dans la fabrication de chacun des produits. Ce point constitue sans doute le facteur qui contribue le plus à la différence de productivité entre le Canada et les États-Unis. En 1974, la valeur ajoutée ($18 400) par employé, au Canada, équivalait à 80% de celle de l'industrie américaine de la transformation des plastiques.

Propriété et contrôle

Environ 80% des établissements de transformation des plastiques appartiennent à des Canadiens. Ces sociétés qui sont surtout privées représentent 61% des éléments d'actif et 62% des ventes. D'après les données fournies en vertu de la Loi sur les déclarations des corporations et des syndicats ouvriers, la proportion du contrôle étranger de l'industrie canadienne, entre 1969 et 1974, n'a subi aucun changement important.

Le nombre des sociétés sous contrôle étranger augmente progressivement; celles qui ont un chiffre de ventes annuel inférieur à $250 000 en comptent 10% et celles dont le chiffre de ventes dépasse $5 millions par année en comptent 50%. Du 20% des sociétés sous contrôle étranger, 72% sont situées en Ontario et 20% au Québec.

Répartition des sociétés canadiennes et étrangères par région

Sociétés	*Canada*	*Provinces de l'Atlantique*	*Québec*	*Ontario*	*Provinces des Prairies*	*Colombie-Britannique*
Canadiennes	79	83	83	74	85	97
Étrangères	21	17	17	26	15	3

Facteurs de production

La proportion du coût de production des divers éléments varie considérablement d'un procédé à l'autre. L'échelle suivante des coûts s'applique aux six principaux procédés de fabrication d'articles en matière plastique.

	Proportion des coûts, %
Matériaux	30 à 60
Main-d'oeuvre de production	8 à 30
Administration	4 à 8
Vente et expédition	5 à 10
Frais relatifs aux immobilisations	17 à 38

L'importance relative de la main-d'oeuvre et du capital varie considérablement. Les produits fabriqués à partir de plastiques renforcés, tels que les bateaux et les réservoirs d'entreposage, demandent une main-d'oeuvre importante; en effet, elle peut représenter 30% du coût total de production. Le refoulage des tuyaux et des pellicules exige un capital relativement élevé; la main-d'oeuvre représente 8 à 10% des coûts, tandis que le capital représente 21 à 38% du coût de production total. Toutefois, aucun procédé de transformation des plastiques ne demande autant de capital que l'industrie pétrochimique ou les autres industries similaires. Dans l'industrie de la transformation des plastiques, les capitaux engagés pour un employé dont le travail se rattache à la production varient entre $5 000 et $42 000, comparativement à $200 000 pour l'industrie pétrochimique.

En 1974, le traitement horaire moyen des employés de production de l'industrie de la transformation des plastiques était de $3,51. Ce chiffre est de 18% inférieur au taux horaire moyen de toutes les industries de fabrication, et de 22% inférieur aux taux horaires moyens de production des industries métallurgiques*; cette situation reflète sans doute une proportion quelque peu plus élevée de main-d'oeuvre non spécialisée dans l'industrie des plastiques. Le principal problème qui ressort des discussions avec cette industrie est la difficulté d'engager et de retenir une main-d'oeuvre convenable.

RENDEMENT DU SECTEUR

Ventes

La valeur des expéditions de nos usines de transformation des plastiques était évaluée, en 1974, à $1,8 milliard; cette valeur a presque doublé en dollars actuels depuis 1969. En dollars constants, les expéditions ont augmenté de 52% pendant cette période de cinq ans, soit à un taux composé de 9% par année. On estime que les expéditions globales, au Canada, de produits en plastique de l'industrie ont atteint $2,3 milliards en 1977.

Bien que 91% des expéditions des produits en plastique proviennent du Québec (24%) et de l'Ontario (67%), les entreprises de transformation de ces provinces vendent environ 50% de leur production à l'extérieur de la province de fabrication. Les sociétés des provinces de l'Atlantique et des Prairies dépendent également, en grande partie, des marchés des autres provinces. En Colombie-Britannique, plus de 80% de la production provinciale a été consommée dans la province.

En 1974, les exportations correspondaient à environ 10% des expéditions globales, en se fondant sur le Profil statistique de l'industrie de transformation des plastiques qui englobait une importante proportion de pièces d'automobiles en plastique. Cependant, en se fondant sur les expéditions de l'industrie (SIC-165) et les exportations attribuables au secteur, les exportations représentaient environ 6% des expéditions en 1974 et 8% en 1977. Le principal pays destinataire a été les États-Unis qui a reçu 85% des exportations en 1974. Les établissements de la province de l'Ontario ont produit la majeure partie des exportations (69%), suivi du Québec (9%), des provinces des Prairies (6%), des provinces de l'Atlantique (5%) et de la Colombie-Britannique (1%).

En 1974, les importations reconnues comme des articles en plastique, ont été évaluées à environ $540 millions, soit 25% du marché canadien. De cette somme, les pièces d'automobiles représentaient $150 millions. Il existe de nombreux articles importés, qui sont fabriqués entièrement, ou partiellement, en matière plastique, mais ces matériaux ne sont pas reconnus comme du plastique et, par conséquent, ils ne peuvent être évalués.

Tendances des coûts et des prix

D'après Statistique Canada, l'indice du prix de vente industriel de l'industrie de la transformation des plastiques était très stable pour la période de 1969 à 1973; il a augmenté de 98,3 à 102,4. En 1974, l'indice est passé de 23% à 126,1% et en 1975, il a augmenté d'un 10% supplémentaire, passant à 138,1. En 1976, l'indice a augmenté de 3,3%, passant ainsi à 142,4; pour le premier semestre de 1977, il a augmenté de 3,6% pour monter à 147,6%. Comparativement, l'indice du prix de vente industriel pour toutes les industries manufacturières est passé de 95,8, qu'il était en 1969, à 153,7 en 1975, à 161,6 en 1976 et à 171,2 à la fin du premier semestre de 1977.

Quant au coût, l'indice du prix de la résine de plastique est passé, de 1964 à 1975, de 100,5 à 186,4, à 187,4 en 1976 et à 190,1 pour la premier semestre de 1977. Les résines de plastique représentent l'élément le plus important du coût des produits de plastique. Le traitement des employés de production du secteur de la transformation des plastiques a augmenté de 58% entre 1969 et 1974; il a suivi à peu près la même courbe que l'augmentation des traitements de l'industrie métallurgique (SIC-513) et de l'ensemble des industries manufacturières (SIC-5).

Rentabilité et produit de placements

Il existe un écart considérable entre les profits des diverses entreprises de transformation des plastiques. Les sociétés de la catégorie SIC-165 qui font un rapport à Statistique Canada ont déclaré en moyenne des profits avant impôt de 10,3% sur les ventes de 1974, comparativement à 8,2% pour les entreprises métallurgiques et à 8,8% pour l'ensemble des entreprises manufacturières.

Pour les cinq années allant de 1969 à 1973, les bénéfices moyens, avant les impôts, réalisés sur les ventes de ces groupes de l'industrie ont été à peu près identiques. Le rendement des avoirs de l'industrie de fabrication d'articles en matière plastique a été beaucoup plus élevé que celui de l'industrie de fabrication des produits en métal et de l'ensemble des industries manufacturières.

* Nous avons choisi de comparer l'industrie de transformation des plastiques à l'industrie métallurgique SIC 5-13 parce que les articles de la première complètent ou remplacent de nombreux produits métalliques.

Moyenne des bénéfices, avant les impôts, réalisés sur les ventes, l'actif et les avoirs

	Ventes	% Actif	Avoirs
Fabrication d'articles en matière plastique SIC-165	6.5	9.3	24.8
Fabrication de produits en métal SIC-5-13	6.4	9.8	17.7
Ensemble des industries manufacturières SIC-5	6.6	8.7	17.0

Aucune courbe distincte des bénéfices réalisés, par procédé, produit ou région, n'a été établie. Il semble toutefois qu'en général le pourcentage du bénéfice réalisé sur les ventes diminue lorsqu'une entreprise dirigée par le propriétaire même devient une entreprise nécessitant un second niveau de gestion et des fonds supplémentaires. À mesure que la taille de l'entreprise augmente, les bénéfices augmentent jusqu'au moment où s'effectue une autre transition.

Capacité

La capacité de production de l'industrie de fabrication d'articles en matière plastique (SIC-165), telle qu'elle est mesurée par le capital-actions brut en dollars constants, a augmenté à un taux moyen de 12,3% par année au cours de la période 1969-1974. L'indice de la capacité utilisée durant cette période a fléchi, de 1969 à 1970, puis augmenté progressivement pour atteindre un maximum en 1973, et a ensuite diminué de 25% jusqu'en 1975.

Indice de l'utilisation de la capacité (1973 - 100)

	Ensembles des industries manufacturières (SIC-5)	Industries de fabrication de produits en métal (SIC-5-13)	Industries de fabrication d'articles en matière plastique (SIC-165)
1969	98.9	102.0	89.8
1970	93.3	96.7	83.9
1971	93.8	94.2	88.6
1972	96.3	95.8	93.9
1973	100.0	100.0	100.0
1974	98.2	98.6	90.9
1975	89.7	90.7	74.6

Le déclin de 25,4%, observé au cours des années 1973-1975, dans l'utilisation de la capacité de l'industrie de fabrication d'articles en matière plastique, a été plus marqué que celui qui s'est produit dans les industries de fabrication de produits en métal (9,3%) et dans l'ensemble des industries manufacturières (10,3%). Ce déclin a été causé par la récession observée dans les affaires en 1974-75 et par une adjonction importante à l'actif immobilisé au cours de la période 1973-1975. Durant cette même période, les dépenses en immobilisations en dollars constants ont été de 62% supérieures à celles des trois années précédentes.

Le niveau absolu de capacité utilisée dans les industries de transformation des articles en matière plastique a été de 62,4% pour une semaine de cinq jours et une production de 24 heures par jour les six premiers mois de 1975, ou de 44,5% si les calculs étaient établis d'après des semaines de sept jours à raison de 24 heures de travail par jour. Bien que la façon d'envisager le travail en continu ne soit pas la même dans tous les secteurs de l'industrie au Canada et dépende des conditions du marché, de la disponibilité de la main-d'oeuvre et des caractéristiques du procédé employé, il semble que l'industrie américaine soit bien davantage orientée vers le travail en continu. Plus la durée d'utilisation de la machinerie et du matériel est longue, plus faibles sont les coûts unitaires.

Emploi

L'emploi dans le secteur de l'industrie de transformation d'articles en matière plastique est passé de 34 000 en 1969 à un peu plus de 45 000 en 1974, ce qui représente une augmentation d'environ 32%. Environ 65% des employés de l'industrie sont des employés à la production formés en cours d'emploi, 14% sont des gens du métier compétents et 21% sont des surveillants, des employés de bureau, et du personnel affecté à la commercialisation et à la gestion.

Au cours de la période 1969-1974, l'emploi dans l'ensemble des industries manufacturières (SIC-5) a connu une hausse de 7% tandis qu'il augmentait de 9% dans les industries de fabrication de produits en métal (SIC-5-13). Dans l'industrie de fabrication de produits en métal, le nombre d'employés est d'environ 3,4 fois supérieur à celui des industries de transformation d'articles en matrière plastique. Toutefois, entre 1969 et 1974, l'industrie de transformation d'articles en matière plastique a crée 11 000 nouveaux emplois, tandis que l'industrie de fabrication de produits en métal en créait 12 700.

Productivité

En 1974, la valeur ajoutée par employé, dans l'industrie de fabrication d'articles en matière plastique, a été de $18 400, soit environ 80% des données américaines correspondantes.

Au Canada, la valeur ajoutée par employé pour l'ensemble des industries manufacturières (SIC-5) et des industries de fabrication de produits en métal (SIC-5-13) est respectivement de 15 et de 12% plus élevée que celle des industries de transformation d'articles en matière plastique. Cette proportion de la productivité est la même aux É.-U., où les écarts ne sont toutefois que de 6 et de 4% pour l'ensemble des industries manufacturières et des industries de fabrication de produits en métal, respectivement, par rapport aux industries de transformation d'articles en matière plastique.

Au Canada, toutefois, de 1969 à 1974, l'augmentation moyenne de la valeur ajoutée par employé a été de 4,4% pour l'industrie de transformation des plastiques, de 3,7% pour la fabrication de produits en metal et de 2,7% pour l'ensemble des industries manufacturières.

Concurrence internationale

Dans le cadre de l'étude sectorielle de l'industrie de transformation des plastiques, la *Woods Gordon & Company*, assistée d'experts-conseils américains, a établi un parallèle entre les aspects économiques des industries américaines et canadiennes de fabrication d'articles en matière plastique. L'étude a indiqué que, compte tenu des charges de capital, l'industrie canadienne affiche un désavantage de 15% au niveau des coûts*. Selon cette étude, ce désavantage, imputable aux prix des matières brutes et aux pertes en rebuts, représente 43% de la totalité des écarts de coûts observés. Les éléments de ces écarts figurent au tableau suivant.

Désavantage au niveau des coûts – Canada

	Contribution à l'écart global	*Pourcentage du total de l'écart des coûts*
1. Coûts des matières premières résultant des écarts de prix et des pertes plus considérables en rebuts	6,4	43
2. Coûts de la main-d'oeuvre résultant d'une productivité plus faible	5,0	33
3. Coûts de l'entretien résultant du manque de spécialisation qui entraine de plus fréquents changements de l'outillage et de plus nombreuses remises en état des outils	3,0	20
4. Autres, y compris les redevances, les taxes municipales, les assurances	1,8	12
5. Coûts des services publics moins élevés	(1,2%)	(8)
	(15,0%)	100%

* Cette analyse suppose la parité du dollar américain et du dollar canadien.

Cette étude contenait des données concernant les coûts des immobilisations, mais les données recueillies, n'étant pas uniformes, n'ont pu être intégrées dans l'analyse globale. Il peut toutefois être présumé que s'il avait été tenu compte de ces coûts, la disparité à ce niveau aurait été de 2 ½ à 3 points de pourcentage supérieure. Cet écart s'explique par un certain nombre de facteurs. Les coûts des machines, du matériel, de la construction et de l'installation sont plus élevés au Canada. Les coûts de l'outillage y sont plus élevés puisque les usines canadiennes fabriquent une plus grande variété de produits. Enfin, comme les usines canadiennes fabriquent une plus grande variété de produits, le rendement d'une machine à production équivalente est plus faible au Canada, à cause du temps improductif dû aux changements d'outillage et d'un facteur d'expérience plus faible pour chaque produit individuel.

Les différences dans les taux de salaires étaient variées et relativement peu importantes, et nous ne jugeons pas qu'elles constituent un facteur majeur dans le cadre de la présente analyse. Cependant, depuis 1974 les différences des taux de salaires moyens dans l'industrie de transformation des plastiques ont augmenté considérablement. En 1977, les salaires moyens au Canada étaient de 15% supérieurs à ceux des État-Unis, selon une étude de la "Society of the Plastics Industry in Canada and the U.S."

POSSIBILITÉS ET CONTRAINTES

Demande

Entre 1975 et 1985, la principale possibilité de l'industrie canadienne des matières plastiques réside dans la croissance prévue du niveau de la demande de produits en matière plastique sur les marchés des consommateurs et de l'industrie.

Sommaire des projections du marché
Millions de livres de résines transformées au Canada

	1975	*Pourcentage de croissance annuelle*	*1980*	*Pourcentage de croissance annuelle*	*1985*
Emballage	570	(10)	915	(9)	1 396
Bâtiments et construction	292	(15)	595	(12)	1 052
Fournitures domestiques et commerciales	145	(7)	202	(7)	284
Transport	113	(18)	262	(11)	447
Loisirs	79	(10)	130	(10)	210
Industries et services d'utilité publique	76	(12)	135	(9)	209
Communications et électronique	73	(10)	114	(10)	181
Agriculture	69	(11)	113	(6)	150
Articles jetables	58	(15)	118	(9)	170
Appareils ménagers	53	(13)	98	(11)	167
Vêtements et accessoires	27	(6)	36	(6)	48
Publicité et publications	6	(10)	10	(10)	16
	1 561		2 728		4 330
Taux de croissance de l'ensemble des marchés recensés (% par année)		11,8(1975-80)		9,7(1980-85)	

Entre 1975 et 1985, l'industrie prévoit une augmentation annuelle moyenne de 10,7% de la quantité de résines plastiques utilisées pour répondre à la demande des marchés qu'il est possible de déterminer à l'heure actuelle. Ce taux d'augmentation se compare à une croissance annuelle de 11,1% de la consommation entre 1965 et 1975. Les facteurs sous-jacents à cette croissance prévue de la transformation des matières plastiques sont une croissance économique constante et modérée, appuyée par les tendances démographiques actuelles, le remplacement des matériaux traditionnels stimulé par les mesures de conservation de l'énergie, et la croissance continue du secteur manufacturier de l'économie. Si le rapport entre le taux de croissance de la consommation de matières plastiques et le P.N.B., observé entre 1965 et 1975 (2,4:1), se maintient durant la présente décennie, les estimations de la demande par l'industrie pourront s'appuyer sur une croissance annuelle de 4,5% du P.N.B.

La valeur globale des expéditions de cette industrie pourrait dépasser $3 milliards en 1980 et $5 milliards en 1985, exprimée en dollars de 1975. Les exportations pourraient connaître une croissance supplémentaire et le remplacement direct des composants importés pourrait également constituer une source de croissance, mais, à défaut d'un changement important dans la position concurrentielle de l'industrie à l'échelle internationale, les possibilités de croissance seront probablement limitées dans ces secteurs.

Approvisionnement en matières premières et prix

Le Canada n'est pas autonome dans la fourniture d'un grand nombre des matières premières utilisées par l'industrie de la transformation des matières plastiques. La production intérieure est actuellement à l'origine d'environ 70% des résines plastiques utilisées. Cependant, le marché canadien n'est pas suffisamment important pour justifier la production intérieure de certaines d'additifs essentiels, d'un grand nombre de catégories spécialisées de résines communément utilisées et d'un certain nombre de résines industrielles utilisées en quantité relativement faible. En 1973 et durant la première moitié de 1974, une très forte demande intérieure et mondiale de produits des matières plastiques a créé des pénuries importantes de résines plastiques. Le fléchissement de l'économie, qui a débuté à la fin de 1974, a toutefois éliminé le problème des pénuries de résines, de sorte que l'approvisionnement en ce produit n'a pas constitué une contrainte pour la croissance qui avait été prévue à l'époque.

Dans la transformation des matières plastiques, le coût de fabrication direct le plus important est celui des résines plastiques, produits finis de l'industrie pétrochimique. Les prix des résines fabriquées au Canada ont presque toujours été supérieurs aux prix mondiaux. Les prix nominaux des résines sont supérieurs de 10% environ aux prix des matériaux équivalents en provenance des États-Unis, ce qui traduit toute l'étendue de la protection tarifaire accordée aux producteurs de résines intérieurs. Toutefois, les prix intérieurs plus élevés s'expliquent en grande partie par l'importance et l'efficacité moindres des unités de production et par les coûts généralement plus élevés des immobilisations et de l'exploitation des usines au Canada.

Le pouvoir d'achat des importants transformateurs des États-Unis constitue une autre contrainte pour la fixation des prix des matières premières, qui est fréquemment citée par les transformateurs canadiens. Un tel avantage rend les exportations de produits fabriqués plus difficiles pour les transformateurs canadiens, tout en compensant partiellement l'effet des droits d'importation canadiens sur les produits des matières plastiques.

Les transformateurs de matières plastiques canadiens, même s'ils reconnaissent la nécessité de disposer de sources intérieures fiables pour la plus grande partie de leurs besoins en résines, croient qu'ils ne peuvent être concurrentiels à l'échelle internationale que si les fournisseurs canadiens offrent leurs résines à des prix équivalents à ceux des États-Unis. Il est démontré que les coûts plus élevés des résines influent négativement sur l'ensemble des coûts de fabrication directe moyens, compte non tenu de l'effet des coûts relatifs au capital, dans une mesure d'environ 5%, soit environ le tiers de la disparité totale des coûts entre les transformateurs canadiens et des transformateurs semblables des États-Unis.

Lorsque seront achevées les expansions majeures de l'industrie pétrochimique en Alberta, en Ontario et au Québec, il est prévu que la capacité de fabrication canadienne des cinq plus importantes résines plastiques, qui représentent 80% des résines utilisées au Canada, pourra satisfaire aux besoins du Canada entre 1980 et 1985. Les modes d'utilisation prévus laissent supposer que les importations de résines plastiques, qui satisfont actuellement 30% des besoins intérieurs, baisseront environ de moitié entre 1980 et 1985.

Dans le cas d'un certain nombre de résines, particulièrement les résines industrielles comme l'acétate et le polycarbonate, le marché canadien n'est pas suffisamment important pour justifier la production intérieure, et l'approvisionnement chez les fournisseurs étrangers, en particulier ceux des États-Unis, se poursuivra pendant quelques années encore.

Malheureusement, le coût du matériel immobilisé et de la construction de nouvelles installations pétrochimiques d'envergure a été suffisamment élevé pour entraîner, au Canada, un désavantage dans le domaine des coûts d'exploitation qui, selon les estimations, sont d'environ 10% supérieurs à ceux des usines américaines. Les frais d'immobilisations plus élevés peuvent être recouvrés en partie par les déductions pour amortissement plus généreuses et l'impôt sur les sociétés moindre qui existent au Canada. La question de la nécessité d'une protection tarifaire pour compenser le niveau résiduel de la disparité des coûts fait l'objet d'une étude plus détaillée dans l'analyse de l'industrie pétrochimique.

Quelle que soit la nécessité, pour les fabricants canadiens de résines, d'exporter une quantité relativement élevée de leur production au cours des premières années qui font suite au démarrage de

nouvelles usines, leur aptitude à détenir la plus grande partie du marché intérieur des résines va continuer à constituer le facteur primordial du succès financier de ces nouveaux investissements dans l'industrie pétrochimique. Certains indices veulent que les prix des résines fabriquées au Canada deviennent désormais de plus en plus concurrentiels par rapport à ceux des État-Unis et d'autres pays, suite à une politique de commercialisation plus ferme des producteurs canadiens de résines, en prévision de l'établissement d'une nouvelle entreprise de production de résines. Il est également entendu que, dans la plupart des cas, les fabricants de résines du pays mettront celles-ci à la disposition des fabricants canadiens pour les produits qu'ils exportent à des prix équivalents à ceux qui sont versés par les transformateurs de matières plastiques des États-Unis pour des quantités semblables de résines.

Main-d'oeuvre

D'ici 1985, le nombre des travailleurs au service de cette industrie devrait augmenter de 15 000 à 30 000, pour atteindre un total de 60 000 à 75 000 employés, en tenant pour acquis que la production de l'industrie augmente de 8 à 10% durant cette période et que la productivité s'accroisse au taux de 5,0% par année, ce qui fut le rendement de l'industrie entre 1969 et 1974. Si le niveau de l'emploi dans l'industrie de la transformation des matières plastiques augmente effectivement de 30 000 travailleurs, cette industrie aura besoin d'un minimum de 10% de l'accroissement prévu de la population active du secteur manufacturier. Quelque approximative que soit cette prévision, il semble que l'industrie de la transformation des matières plastiques constituera un marché de plus en plus concurrentiel pour la main-d'oeuvre directe au cours de la prochaine décennie. Environ 65% des travailleurs de l'industrie de la transformation des matières plastiques sont des employés directs formés en cours d'emploi, qui n'ont même pas besoin d'un diplôme d'études secondaires. En 1971, 62% de la population active canadienne se rangeait dans cette catégorie. Il est prévu que ce pourcentage baissera: il atteindra 49% en 1980 et 45% en 1985. Comme l'industrie de la transformation des matières plastiques a recours aux services d'un plus fort pourcentage de main-d'oeuvre non spécialisée que l'ensemble du secteur manufacturier, elle aura donc plus de difficulté à s'approvisionner en main-d'oeuvre.

L'industrie cite également comme une contrainte la difficulté qu'elle éprouve à obtenir un nombre approprié d'apprentis artisans et de travailleurs techniques.

En ce qui concerne les apprentis artisans, il semble que des installations de formation appropriées n'existent pas au Canada. Le problème des travailleurs techniques est plus complexe: il semble que les diplômés des établissements techniques s'attendent souvent à occuper des postes de surveillance ou de gestion peu après l'obtention de leurs diplômes. Bien que la scolarité de ces diplômés leur permette d'occuper éventuellement de tels postes, l'industrie juge qu'ils ont besoin d'acquérir beaucoup d'expérience pratique avant d'avoir de l'avancement. Règle générale, l'industrie de la transformation des matières plastiques n'emploie pas un grand nombre de diplômés d'établissements techniques.

De la même manière, les techniciens, tels que les ingénieurs ou les chimistes, ne satisfont pas aux attentes de l'industrie, ce qui peut être attribué à l'absence de formation spécialisée en transformation des matières plastiques dans la plupart des universités. Cet état de choses peut également être imputé à l'envergure relativement restreinte des ouvrages techniques, surtout dans les petites sociétés de transformation des matières plastiques.

La productivité maximale des immobilisations pourrait être réalisée si l'industrie était en mesure d'assurer une exploitation constante, soit 24 heures par jour, 7 jours par semaine. Même si les secteurs d'industrie de capital s'approchent d'une exploitation constante, l'industrie éprouve généralement des difficultés à conserver une main-d'oeuvre qui permette ce type d'exploitation.

Les travailleurs canadiens, et particulièrement les jeunes, ne désirent pas travailler dans des usines, par équipes ou durant les fins de semaine. L'industrie dépend, dans une large mesure, de la main-d'oeuvre immigrante, surtout pour remplir les postes du secteur de la production. Toutefois, elle devra avoir recours davantage aux travailleurs canadiens, puisque le nombre des immigrants reçus au Canada est réduit en raison du chômage élevé que nous connaissons actuellement. Aux États-Unis, l'exploitation continue est acceptée comme une méthode d'exploitation industrielle beaucoup plus courante. Ainsi, l'industrie canadienne a perdu non seulement ses avantages relatifs aux taux de salaire, mais elle est également limitée par l'attitude des travailleurs qui nuit continuellement à l'exploitation.

Utilisation de la capacité

Une capacité excédentaire chronique caractérise la plupart des secteurs de l'industrie de transformation des matières plastiques depuis maintes années, ce qui est dû dans une certaine mesure au taux de

croissance élevé du marché des produits de matières plastiques. Il semble que le coût du maintien d'une nouvelle capacité excédentaire en prévision de la croissance future a été inférieur aux pertes qu'aurait entraînée la non exploitation des possibilités du marché. Toutefois, lorsque le taux de croissance diminue, comme il l'a fait en 1975 et en 1976, la plupart des nouveaux investissements demeurent malheureusement improductifs et viennent s'ajouter à la structure des coûts de la société.

Un autre facteur fondamental de la faible utilisation de la capacité des usines réside dans les difficultés extrêmes qu'éprouvent les sociétés canadiennes qui tentent d'exploiter avec plusieurs équipes par jour durant plus de 5 jours par semaine, facteur déjà mentionné.

Le fait qu'il soit relativement facile d'entrer dans l'industrie de la transformation des matières plastiques et que cette activité puisse être entreprise sur une échelle relativement restreinte a également contribué à la capacité excédentaire de l'industrie. L'établissement de petites entreprises constitue peut-être un facteur positif lorsqu'il s'agit de développement régional et d'emplois. Les petites entreprises peuvent cependant constituer parfois un facteur négatif lorsqu'il leur est possible d'influer sur les prix du marché dans une mesure qui ne reflète peut-être pas entièrement les coûts. Autrement dit, les sociétés plus importantes dont les frais généraux sont plus élevés par suite d'une activité technologique, du développement des marchés ou de la technique, ainsi que d'une bonne comptabilité de prix de revient, peuvent éprouver des difficultés à faire une concurrence profitable aux petites entreprises.

Les sociétés qui font une importante consommation de composants de matières plastiques ont tendance à prendre en charge la fabrication des produits de matières plastiques dont elles ont elles-mêmes besoin, une fois que leur volume a atteint un niveau capable de justifier les frais d'immobilisation et d'exploitation; ce facteur contribue également à la capacité excédentaire et, chaque fois qu'il se manifeste, une partie des marchés de spécialités ou de la clientèle disparaît effectivement, laissant un ou plusieurs anciens fournisseurs avec une capacité mécanique inutilisée et de la main-d'oeuvre excédentaire.

Capitaux des petites sociétés canadiennes

Les sociétés débutantes semblent éprouver relativement peu de difficulté à se procurer les capitaux minimaux requis pour lancer leurs entreprises, mais l'industrie rapporte que certaines entreprises ont éprouvé de la difficulté à financer les expansions. On prétend qu'il est beaucoup plus facile aux sociétés américaines de se procurer des capitaux à des fins d'expansion, par l'intermédiaire du système bancaire des États-Unis pour le commerce international.

Échanges commerciaux

Une analyse des importations canadiennes de produits en matières plastiques révèle qu'il existe des possibilités de remplacement des importations, surtout dans certains domaines comme les pièces d'automobiles, les pellicules, les feuilles et les recouvrements de planchers. Bien qu'une multitude de produits en plastique entrent au Canada en quantités pour lesquelles, compte tenu des coûts de l'outillage et de l'importance des marchés actuels, la production nationale serait difficile à justifier, l'industrie estime qu'une meilleure identification des importations de produits en matières plastiques résulterait en une plus grande substitution des importations.

L'expansion des exportations de produits en matières plastiques, en particulier vers les États-Unis, devrait constituer l'objectif-clé de l'industrie canadienne de transformation des plastiques. Une augmentation importante des exportations aurait pour effet d'améliorer l'économie de production en entraînant une production à plus grande échelle et en utilisant la capacité excédentaire. Il faudra toutefois surmonter un certain nombre de problèmes, comme les coûts de fabrication plus élevés au Canada, la préférence pour les produits américains et un certain degré d'inertie au sein de l'industrie canadienne.

La meilleure façon pour l'industrie de transformation des plastiques d'assurer un accroissement de ses exportations serait de faire beaucoup de publicité autour des produits uniques en leur genre. Les produits qu'exportent avec succès certains transformateurs canadiens démontrent qu'il est possible de vendre, aux États-Unis et parfois dans d'autres pays, des produits bien conçus qui offrent des avantages d'ordre esthétique ou fonctionnel.

Même s'il est difficile d'exporter les produits courants en matières plastiques, parce qu'ils doivent être vendus en concurrence avec d'autres produits moins chers dont les caractéristiques sont semblables, quelques sociétés canadiennes qui se sont spécialisées dans des séries de produits restreintes ont réalisé des chiffres élevés de ventes à l'exportation de certains produits.

Le tarif douanier applicable à la plupart des produits en matières plastiques expédiés aux États-Unis est relativement peu élevé. Par exemple, les seaux en plastique sont assujettis à un taux de 8,5%, les

boyaux, les tuyaux et les tubes à un taux de 4% et les pellicules à un taux de 6%. Les négociations de Tokyo devraient entraîner une réduction de taux de douane aux États-Unis, ce qui aura pour effet d'améliorer les perspectives touchant les produits fabriqués au Canada et vendus sur ce marché. Une réduction des droits dans d'autres marchés étrangers n'augmenterait pas beaucoup les possibilités d'exportation des produits en matières plastiques, puisque les coûts du transport et les exigences de service gênent les exportations vers les marchés lointains. Par ailleurs, il est évident que les tarifs douaniers du Canada seront probablement réduits par suite de ces négociations, ce qui entraînera une plus forte concurrence des produits importés.

L'industrie de la transformation des matières plastiques, telle qu'elle est définie dans la présente étude, fait partie de 12 groupes principaux de la division 5, "industries manufacturières", de la Classification des activités économiques. La transformation des matières plastiques fait partie de l'activité de fabrication d'établissements qui peuvent relever de près de 40 classifications industrielles à trois chiffres.

L'industrie de fabrication d'articles en matières plastiques, n.c.a. (CAE-165) englobe toute les activités de fabrication de matières plastiques qui ne peuvent être commodément rangées dans une classification de marché ou de production; elle est à l'origine de près de la moitié de la valeur estimative des expéditions de l'industrie de la transformation des matières plastiques. L'identité des secteurs de l'industrie de la transformation des matières plastiques devient moins précise au fur et à mesure que la transformation des matières se diversifie. Malgré tout, l'industrie de fabrication d'articles en matières plastiques, n.c.a. (CAE-165) permet de dégager plusieurs secteurs spécialisés de l'industrie dont les méthodes de transformation, les produits et la structure de l'entreprise sont définitivement homogènes. Le mode de détermination du genre et du groupe des données statistiques touchant les secteurs de la fabrication et du commerce de cette industrie peut être considéré comme un domaine qui exige réellement de l'amélioration, puisque des renseignements et des groupements statistiques inappropriés constituent fréquemment des contraintes pour une saine planification industrielle et la formulation de politiques.

Des systèmes inappropriés ou trompeurs d'information sur la gestion, qui tendent à limiter la qualité des décisions commerciales, ont été définis comme des contraintes en ce qui concerne l'amélioration du rendement de l'industrie de la transformation des matières plastiques. L'absence de données appropriées sur les coûts constitue une lacune de tout premier plan, commune aux petites entreprises et à un grand nombre de grandes sociétés plus prospères. Il a été établi qu'on cherche couramment, dans l'industrie, à augmenter le volume des ventes et à assurer la croissance de l'entreprise sans s'intéresser suffisamment à l'utilisation efficace de l'actif matériel et financier.

Technologie et innovations

Le développement de la technique de la transformation des matières plastiques est dû en grande partie aux producteurs de résines et aux fabricants de machines de l'Europe et des États-Unis. Au Canada, les clients, les producteurs de résines, les filiales et les ententes sur les brevets ou les techniques constituent les principales sources de données techniques.

Règle générale, il semble que l'industrie canadienne n'apprenne pas aussi vite que les États-Unis, l'Europe et le Japon les nouveaux développements technologiques. Au sein de l'industrie canadienne, les petites sociétés sont encore plus défavorisées sur ce plan que les grosses entreprises, lesquelles ont accès à une gamme plus étendue de données techniques.

Règle générale, à cause des dimensions relativement restreintes du marché canadien, les transformateurs moyens de matières plastiques au Canada ne peuvent justifier leur niveau de dépenses par rapport au temps nécessaire pour mener une activité efficace de recherche et de développement. La plupart des initiatives techniques couronnées de succès ont été des mesures visant l'amélioration de la productivité de la fabrication et de la transformation, menées au niveau de l'atelier. Toutefois, l'achat de machines à l'étranger et les rapports établis avec les fabricants de telles machines ont fourni un apport technique important à l'industrie canadienne de la transformation des matières plastiques. Les producteurs de résines canadiens, qui sont en définitive des filiales d'organismes multinationaux cherchant à réaliser des objectifs de commercialisation au Canada, ont fourni une somme importante d'assistance technique à l'industrie de la transformation des matières plastiques en voie de développement. Cette assistance a toutefois diminué au cours des dernières années.

Image de l'industrie

La perception de l'industrie des matières plastiques, par le public, influe beaucoup sur son développement futur. L'attitude des architectes, des concepteurs, des écologistes, des consommateurs et des

employés en perspective à l'égard de l'industrie influe sans aucun doute sur les décisions quotidiennes de celle-ci touchant la sélection des matériaux de construction, des achats et des employés.

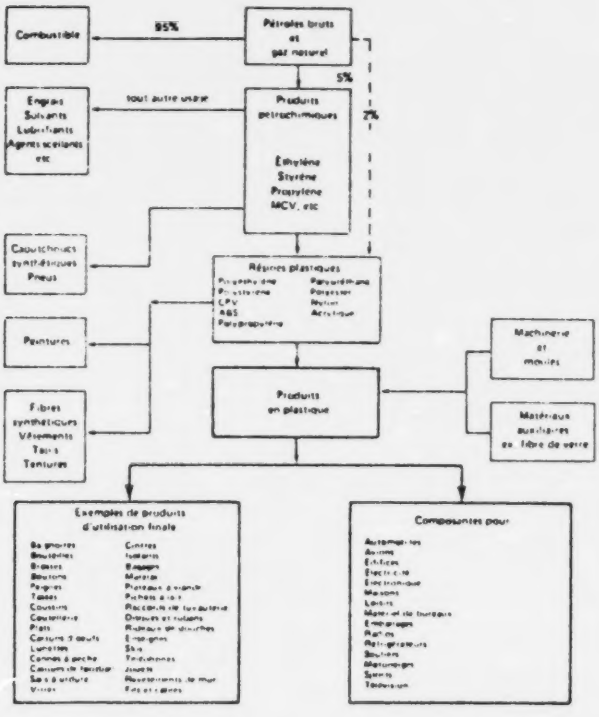
Suite à un certain nombre d'échecs qu'ont connus les produits au cours des premières années de la transformation des matières plastiques, la confiance et l'acceptation du public ont augmenté peu à peu par suite de la connaissance accrue, par l'industrie, des propriétés des matières plastiques, ainsi que d'une meilleure conception des produits et de l'emploi de nouveaux types de résines et de méthodes de transformation améliorées. Il est aussi important que le public prenne conscience de la contribution qu'apportent les matières plastiques dans la conservation de l'énergie en substitution à des matières constituant une dépense plus grande d'énergie.

Règlement touchant l'environnement

Le caractère de plus en plus strict des règlements touchant l'inflammabilité et les émissions de fumées et de vapeur auront probablement un effet sur les marchés des fournitures et des matériaux de construction. En outre, on se préoccupe de plus en plus des effets nocifs possibles de certains composants plastiques sur l'environnement, la santé des travailleurs et la population en général. Ces règlements pourraient restreindre considérablement la croissance de maintes applications des matières plastiques. L'industrie a cependant fait preuve de beaucoup d'ingéniosité pour élaborer de nouvelles méthodes afin de pallier les contraintes qu'imposent les propriétés fondamentales des matériaux; un grand nombre des obstacles qui subsistent pourraient, semble-t-il, être surmontés.

ANNEXE I

L'Industrie du Plastique



Section de transformation des plastiques entouré de lignes prononcées

Société des industries du plastique du Canada
1262, chemin Don Mills, pièce 104
Don Mills (Ontario) M3B 2W7 (416) 449 3444

Documents qui ont servi à la rédaction des rapports

ANNEXE II

Documents gouvernementaux

1. Document de travail - Profil de secteur --- L'industrie canadienne de transformation des plastiques --- Ministère de l'Industrie et du Commerce.

2. Notes pour une allocution de Gordon F. Osbaldeston, Sous-ministre de l'Industrie et du Commerce, à la Conférence Canplast '77 de la Société des industries du plastique du Canada, à Toronto, le 17 octobre 1977 --- Ministère de l'Industrie et du Commerce, Ottawa.

3. Rapport statistique de l'Industrie de la fabrication du plastique au Canada --- Ministère de l'Industrie et du Commerce, Direction des produits chimiques, octobre 1976.

4. Rapport sur l'Industrie canadienne de la transformation des matières plastiques --- Ministère de l'Industrie et du Commerce, Direction des produits chimiques, 1977.

5. Documents à l'intention des Groupes consultatifs --- Ministère de l'Industrie et du Commerce, Ottawa.

6. L'économie canadienne --- projections et objectifs à moyen terme, février 1978 --- Ministère des Finances, Ottawa.

7. Document de travail --- Rendement de l'industrie manufacturière --- (établi à la demande des sous-ministères fédéral et provinciaux de l'Industrie et du Commerce).

8. Document de travail --- Les perspectives de l'industrie manufacturière au Canada d'un point de vue régional, janvier 1978 --- Ministère de l'Expansion économique régionale, Ottawa.

9. Mémoire sur le calcul du prix de revient, n° 1031 --- Ministère des Approvisionnements et Services, Ottawa.

10. "Magasinons à la Canadienne", --- communiqué du 18 mai 1978 --- Ministère de l'Industrie et du Commerce, Ottawa.

11. "Dépôt des modifications à la Loi sur les relations de travail dans la fonction publique --- Communiqué du 8 mars 1978, Conseil du Trésor, Ottawa.

Documents de la SPI

12. Policy Proposals for the Plastics Processing Industry --- La Société des industries du plastique du Canada, 19 juillet 1977.

13. Average Hourly Wages - Labour - U.S./Canadian Comparison Based on 1977 Surveys --- La Société des industries du plastique, 18 mai 1976.

Autres documents

14. Étude critique du Congrès du travail du Canada sur l'exposé du gouvernement fédéral l'Économie canadienne à moyen terme, projections et objectifs, février 1978 --- opeiu 225, avril 1977.

15. Lettre de J.L. Thibault, directeur, Economique et communications, Association des manufacturiers canadiens à J. Edward Newall, Vice-président exécutif, DuPont du Canada Limitée, 12 mai 1978.

16. Business & Economics, vol. 7, n° 1, février 1978 --- Service de la recherche économique, La Banque Toronto-Dominion.

ANNEXE III

GROUPE CONSULTATIF DE L'INDUSTRIE DE TRANSFORMATION DES PLASTIQUES

MEMBRES

A.G. Moreton (Président du Groupe)
Président
Esso Chemie Canada

A. Bombardier
Président
Roski Ltée

D.J. Boomer,
Vice-président exécutif et directeur général
Consumers Glass Company, Limited

W.V. Bowerman
Direction de la Technologie des Approvisionnements
Ministère de l'Industrie et du Commerce du Manitoba, Province du Manitoba

B.A. Burgess
Vice-président et directeur général
Plasti-Fab Ltd

D.P. Dempster
Direction de l'industrie
Ministère de l'Industrie et du Tourisme
Province de l'Ontario

M.A. Eisenhauer
Président
Atlantic Bridge Co. Ltd

H. Gauthier
Coordonnateur régional de l'Est
Syndicat international des travailleurs des industries pétrolière, chimique et atomique

L.E. Love
Président
Midland Industries Limited

W.E. Lynes
Président
Les Industries Leco Limitée

P.J. McIvor
Vice-président et directeur général
Plax Canada Limited

G. Rancourt
Coordonnateur de la commercialisation
P.H.-Tech Inc.

H.C. Rowlinson
Chef de division, plastiques
Canadian Industries Limited

P.G. Szasz
Président
Protective Plastics Limited

L.R. Tucker
Président
Grandview Industries Limited

A. Vendette
Bureau de l'Industrie
Ministère de l'Industrie et du Commerce
Province de Québec

W.R. Waters
Faculté des études de gestion
University of Toronto

OBSERVATEURS

E.R. Evason
Président
Société des industries du plastique du Canada

T.E. O'Leary
Industrial Enterprises Incorporated
Ile-du-Prince-Édouard

SECRÉTAIRE

A.E. LeNeveu
Directeur général
Direction des produits chimiques
Ministère de l'Industrie et du Commerce

VIEILLISSEMENT DES MATERIAUX A BASE DE PLASTIQUES

A. Blaga

CNRC - Ottawa

Division de recherche sur le bâtiment

VIEILLISEMENT DES MATERIAUX A BASE DE PLASTIQUES

I. INTRODUCTION

Comme la plupart des matériaux, les plastiques sont sensibles à l'influence de certains agents de l'ambiance de service où ils sont utilisés. Généralement, leur propriétés subissent une évolution irréversible plus ou moins accusée, très souvent lente, dans un sens qui est le plus souvent défavorable à l'usage. Cette altération (détérioration) en fonction du temps, principalement provoquée par les conditions de service, est connue sous le nom de vieillissement. La détérioration nuit à la bonne performance du plastique et peut même rendre le matériau hors d'usage. Par conséquent, l'utilisation des plastiques exige une bonne connaissance de leurs comportement dans le temps, surtout dans des applications où ces matériaux sont exposés aux intempéries.

Dans cette communication, une discussion sera présentée, à l'aide d'illustrations, des différentes manifestations du vieillissement et des processus par lesquels ces transformations se sont produites. Les résultats discutés seront en parties ce qui ont été acquis à la DRB/CNRC, mais incluront aussi de l'information publiée ailleurs.

II. AGENTS DE DETERIORATION

Pendant l'usage, les matériaux plastiques sont exposés à l'action des divers agents (facteurs) de détérioration. Certaines de ces ambiances de service sont simples, parce que seulement un agent exerce une contrainte intense, ou parce que deux facteurs faibles agissent indépendemment. Dans d'autres ambiances, l'action simultanée de plusieurs facteurs a souvent un caractère synergétique. L'ambiance naturelle (atmosphérique) est la plus complexe et elle varie selon les climats (arctique,tempéré ou tropical). Les facteurs de détérioration les plus nocifs sont l'humidité, la température, la lumière ultraviolette et l'oxygène de l'air. Etant donné qu'une proportion de plus en plus grande de plastiques est utilisée dans des applications où ils sont exposés aux intempéries, l'étude de leur détérioration dans l'ambiance atmosphérique ou vieillissement naturel a fait l'objet de nombreux travaux (1-3). A la DRB, des études ont été effectuées sur le vieillissement naturel des plastiques en forme de plaques et de mousses isolantes. En vue d'élucider les processus de détérioration, les matériaux ont été soumis à des épreuves de vieillissement artificiel. L'évolution de la détérioration a été suivie à l'aide du spectrophotomètre infra rouge, du microscope optique et à balayage électronique, et au moyen d'essai en traction, chromatographie à perméation sur gel, etc. (4-12).

.../3

III. MANIFESTATIONS DE LA DETERIORATION

La dégradation provoquée par l'exposition aux intempéries se manifeste tout d'abord par l'altération des qualités d'aspect, notamment, celles qui relèvent de la forme, des qualités de surface et de la couleur. Ces altérations peuvent consister en; discoloration; décoloration; perte de brillance (lustre); formation de fissures et craquelures en surface; exsudation (apparitions à la surface d'un additif liquid visqueux ou solide d'apparence crayeuse); opacification; défibrage (dans les polyesters renforcés à la fibre de verre). Une conséquence très importante du vieillissement est la détérioration des propriétés mécaniques telles que la diminution de résistance à la traction, du module d'élasticité et un abaissement de la résistance au choc, etc.

L'étude des processus de détérioration ont démontré que les manifestations du vieillissement sont causées par des alterations de la structure chimique du polymère de base, généralement en conjunction avec des contraintes physiques résultant des fluctuation de l'humidité et de la température (4-10), et de l'hétérogénéité du matériau.

Les alterations de la structure chimique (dégradation) sont le plus souvent produites par l'action combinée de la lumière solaire (la partie ultra-violette) et de l'oxygène de l'air. L'ensemble des réactions causées par ces deux facteurs de l'ambiance naturelle est connu sans le nom de dégradation photochimique. Pour qu'un matériau

.../4

plastique subisse une dégradation photochimique, il faut qu'il absorbe de l'énergie lumineuse ultraviolette. La susceptibilité des plastiques à la lumière ultraviolette dépend du polymère de base et des ingrédients qui entrent dans sa formulation.

L'énergie lumineuse, une fois absorbée, provoque la dissociation (rupture) des liaisons chimiques (surtout les liaisons C-C et C-H) des molécules constituantes du matériau. Ce phénomène, avec ou sans la participation de l'oxygène, conduit subséquemment à une ou plusieurs des altérations suivantes de la molécule (chaine) polymère: scission des chaines moléculaires; réticulation, élimination de composés simples à partir de la chaine (tel que HCL, H_2O, CO, CO_2); formation de liaison double (C=C) dans la chaine principale; dépolymérisation. Une réaction importante qui peut se produire dans certains matériaux polymère, en présence de l'eau, c'est l'hydrolyse. La dégradation contribue à l'abaisement de la résistance mécanique du matériau polymère. La présence des liaisons doubles et du groupe carbonyle (C=O) est généralement responsable de la discoloration (changement de teinte).

Les résultats acquis dans l'étude du vieillissement sont utiles aux producteurs et aux utilisateurs en vue d'une amélioration et meilleure utilisation du matériau. D'autre part, ces résultats ont permis aux chercheurs de mettre à point des méthodes d'essais plus adéquates pour apprécier l'évolution de la dégradation. Aussi, les renseignements tirés de l'étude de vieillissement artificiel ont été utilisés on vue de previsions relatives au vieillissement naturel.

.../5

En raison de la complexité de l'effet des facteurs artificiels ou naturels de détérioration, une corrélation entre le vieillissement naturel et artificiel, est très difficile.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. J. Mattham et collègues, éditeurs, Aging and Weathering of Plastics, A Review of the Literature, Rubber and Plastics Association of Great Britain, Shawbury, Shrewsbury, England, 1970.

2. Aging and Stabilization of Polymers, N.B. Newman, Traduit du russe par Consultant Bureau, New York.

3. B. Bossu, P. Dubois et M. Lecordier, Contribution au problème de la corrosion et du vieillissement des plastiques, IUPAC, Prague, 1965, Plast. Mod. mai 1966.

4. A. Blaga, Polym. Eng. Sci., 12, 53 (1972).

5. A. Blaga et R.S. Yamasaki, Mat. Sci., 8, 654 (1973).

6. A. Blaga et R.S. Yamasaki, Mat. Sci., 8, 1331 (1973).

7. A. Blaga et R.S. Yamasaki, Mat. Sci., 11, 1513 (1976).

.../6

8. A. Blaga, SPE Journal, 28, 25 (1972).

9. A. Blaga, Bâtiment International/Building Res. and Practice, 3, 11 (1975).

10. R.S. Yamasaki et A. Blaga, Matériaux et Constructions/Materials and Structures, 10, 197, (1977).

11. R.S. Yamasaki et A. Blaga, Effect of Angle of Exposure on the Tensile Impact Strength of Thermoplastics during Weathering.

12. A. Blaga, Proceedings, 1st International Conference on the Durability of Building Materials and Components, ASTM STP/691, pp. 827-8.

LE "VIEILLISSEMENT" DES POLYMERES (PLASTIQUES)

H.P. Schreiber

Ecole Polytechnique

LE "VIEILLISSEMENT" DES POLYMERES (PLASTIQUES)

PRINCIPES:

- Les polymères sont des molécules complexes. Les forces de cohésion dans les matériaux polymériques incluent:

  - Forces v.d. Waals
  - Forces polaires, liaisons H
  - Réticulations chimiques
  - Réticulations physiques, dites enchevêtrements.

- Suivant l'application d'une force de déformation, par exemple, tension, torque, compression, cisaillement, etc., les macromolécules répondent lentement. On parle donc de temps de relaxation.

- On reconnait, dans chaque polymère, un spectre des temps de relaxation, $\tau_i \rightarrow \tau_j$. Les valeurs τ dépendent des variables suivantes:

  → $\tau \propto M$ et Mw/Mn
  → $\tau \propto 1/T$
  τ varie également selon la distribution des forces cohésives,

  $\tau \uparrow$ avec ↑ forces polaires, réticulations chimiques
  $\tau \downarrow$ avec ↑ forces v.s. Waals, enchevêtrements.

- Lors de la transformation d'un polymère par ... extrusion, moulage, ... les liaisons physiques sont déformées. En face des valeurs de τ de l'ordre des secondes, même des minutes,

  ⇉ Les articles polymériques se trouvent toujours dans un état de non-équilibre.

CONSEQUENCES

. Les rendements physiques et mécaniques des polymères ne sont pas définis uniquement par la composition du polymère.

. Les rendements dépendent fortement des détails de la transformation et de l'utilisation (effets de l'histoire thermique et de l'histoire de cisaillement).

. Les rendements doivent changer avec le temps ("vieillir"*) à cause des relaxations moléculaires.

---

* On ne considère pas ici les "vieillissements" provoqués par la chaleur, les rayons U-V, etc.

ILLUSTRATIONS DU CONCEPT

. Les rendements mécaniques et le mécanisme de rupture du système PE (linéaire)/EPR...

- effet de dispersion des composants
- effet de l'histoire thermique
- changement des rendements avec vieillissement accéléré

. Le rendement d'adhésion du couple PP/cellophane

- effet de l'histoire thermique
- phénomènes de vieillissement

DISPERSION (200°C)

1. BANBURY
2. BRABENDER, 100 R.P.M., 4.5 - 60 MIN.
3. BRABENDER, 30 R.P.M., 4.5 - 60 MIN.
4. ROLL MILL

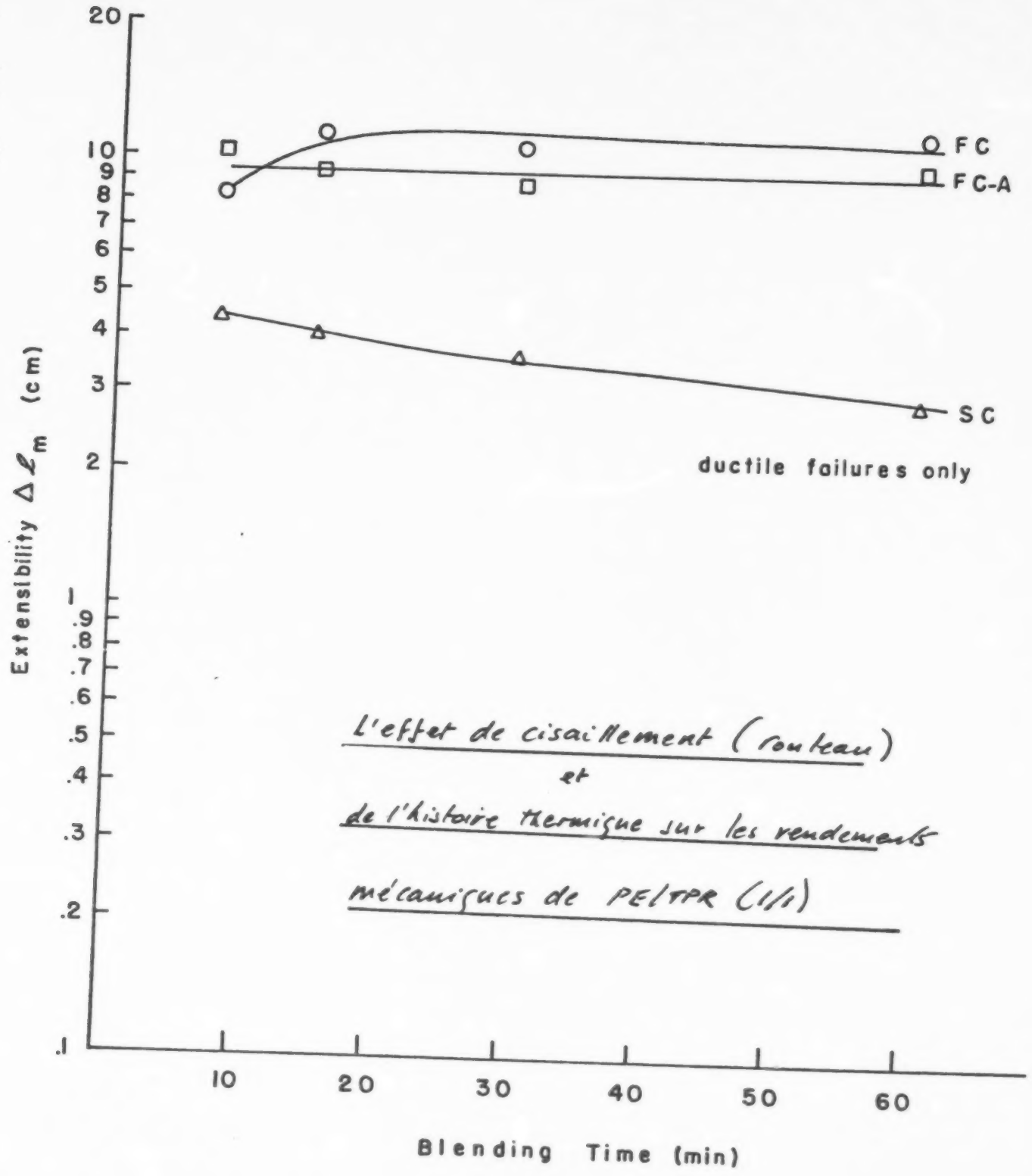
T HISTORY

A. COMPRESSION MOLD, 175°C/1500 P.S.I.

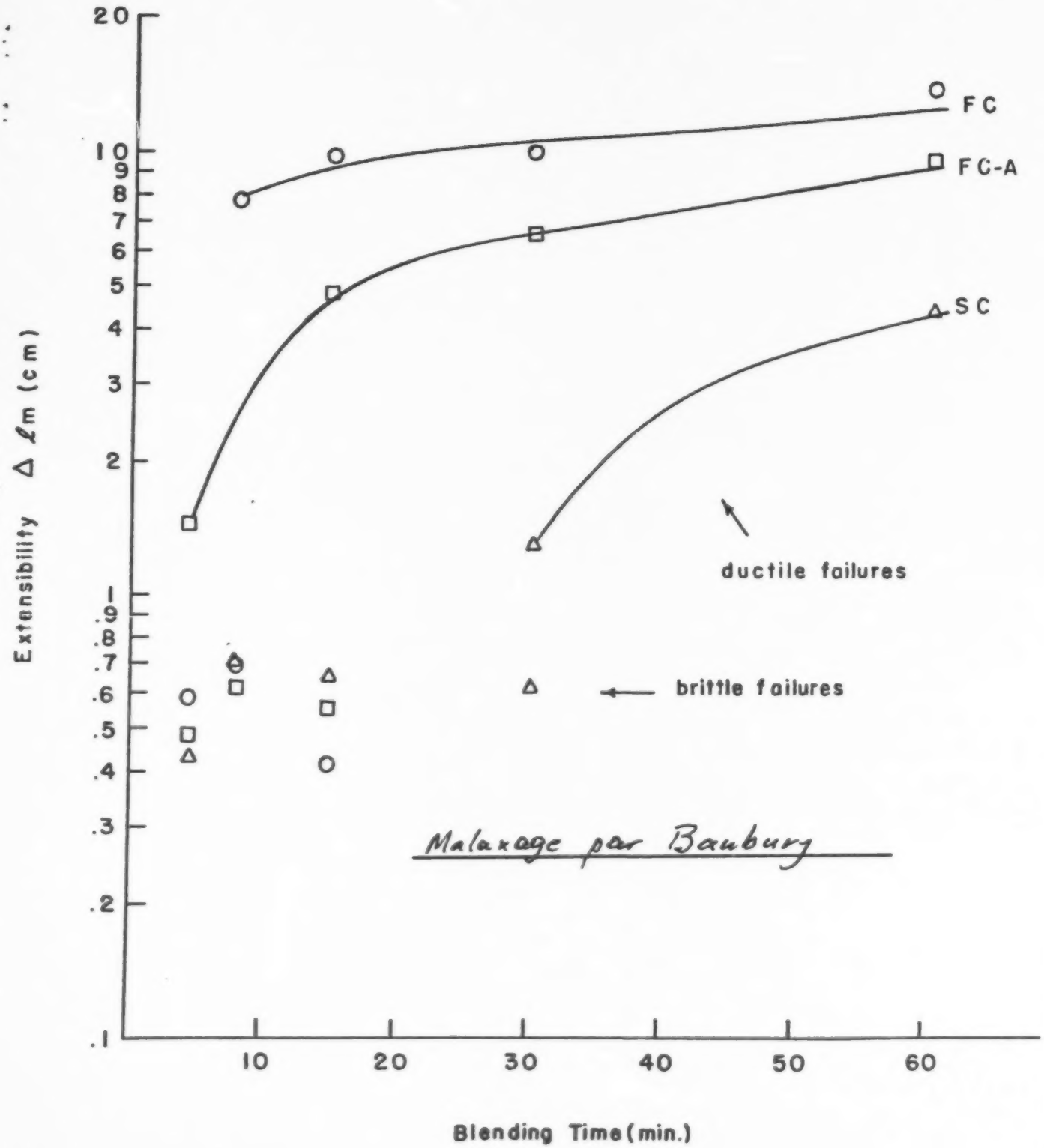
B. SLOW-COOL (SC) @ ~ 1°C/MIN.

C. FAST-COOL (FC) @ ~ 150°C/MIN.

D. (FC) THEN ANNEAL (FC - A) @ 100°C, 16 HR.

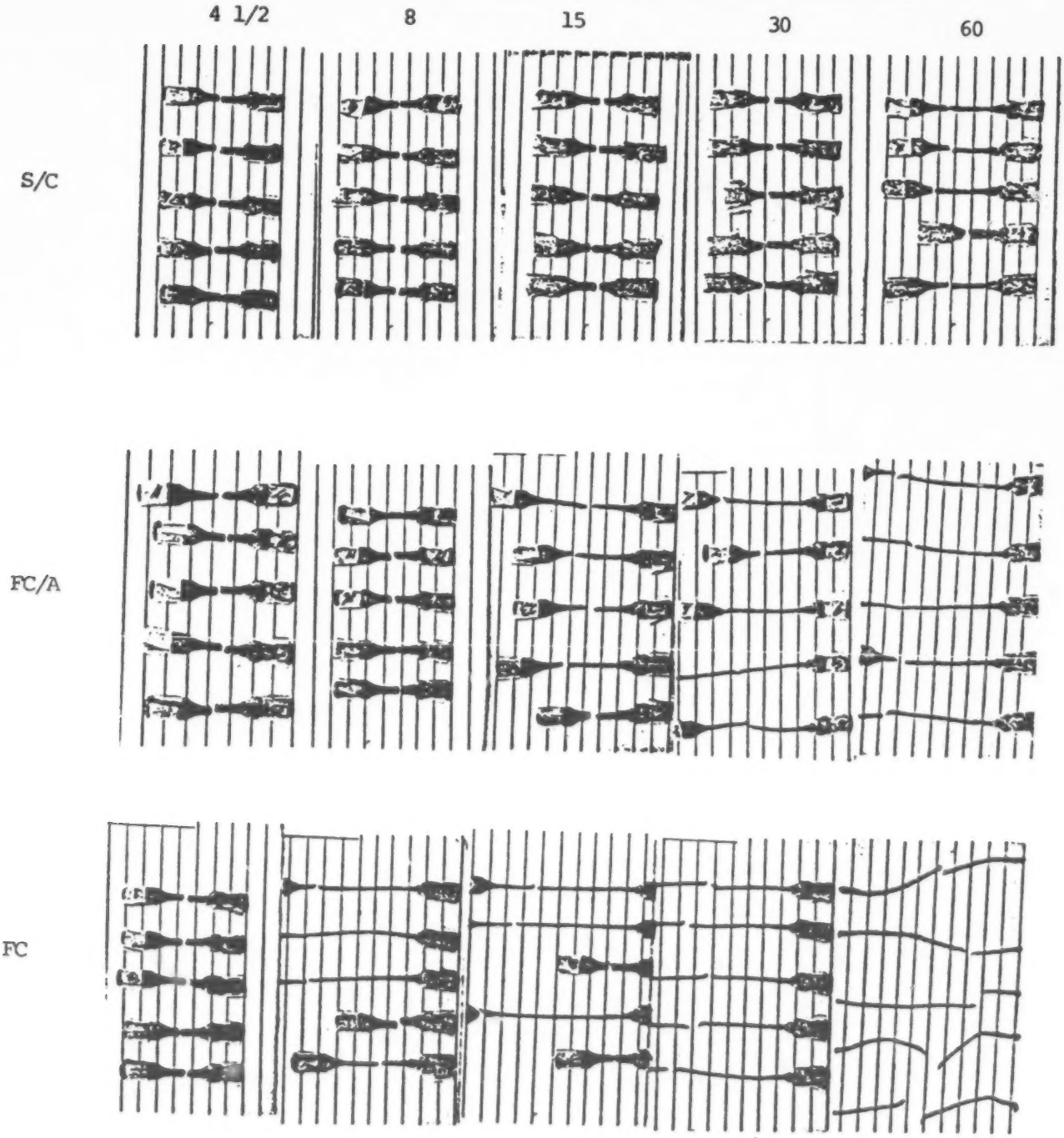


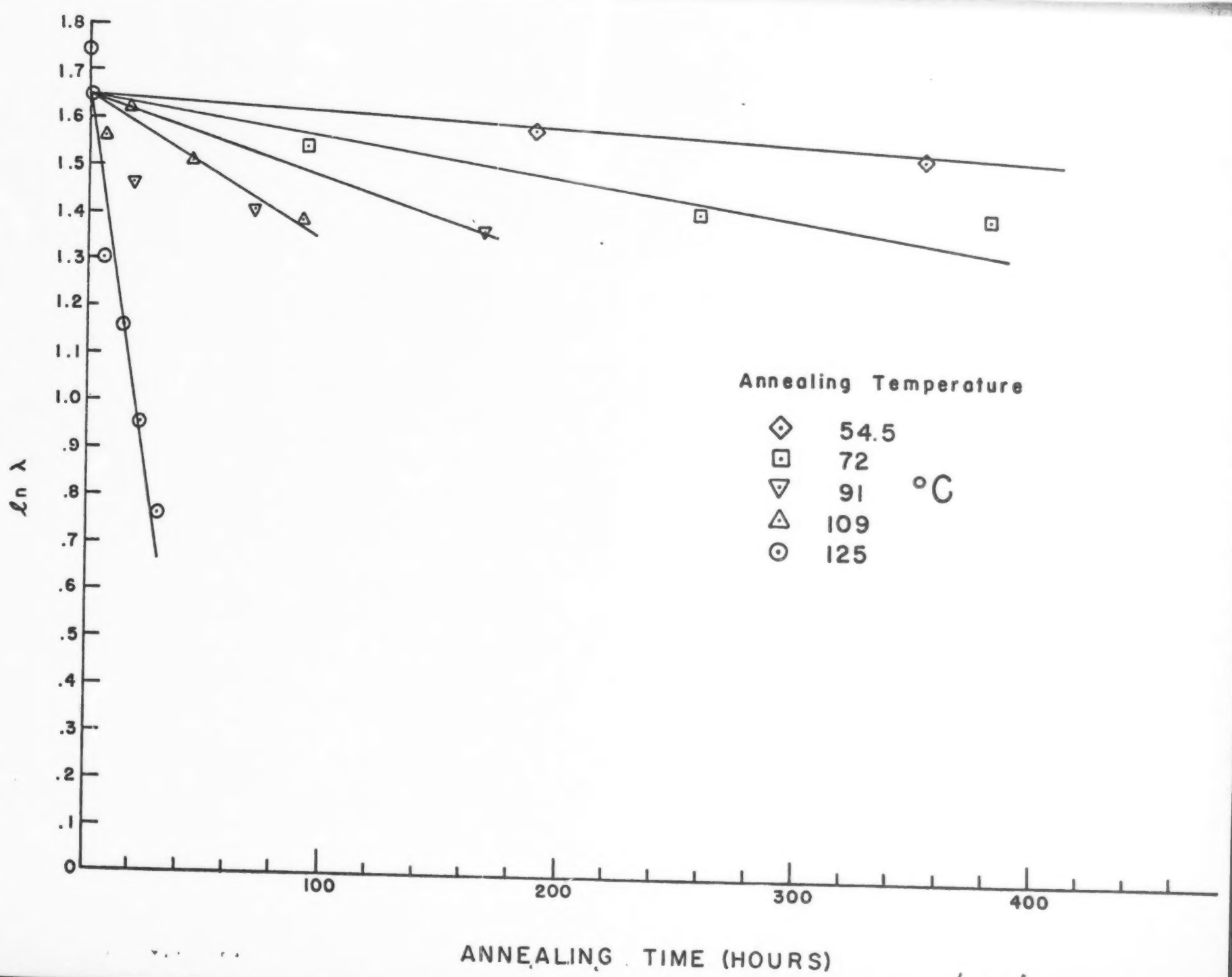
L'effet de cisaillement (rouleau)
et
de l'histoire thermique sur les rendements
mécaniques de PE/TPR (1/1)

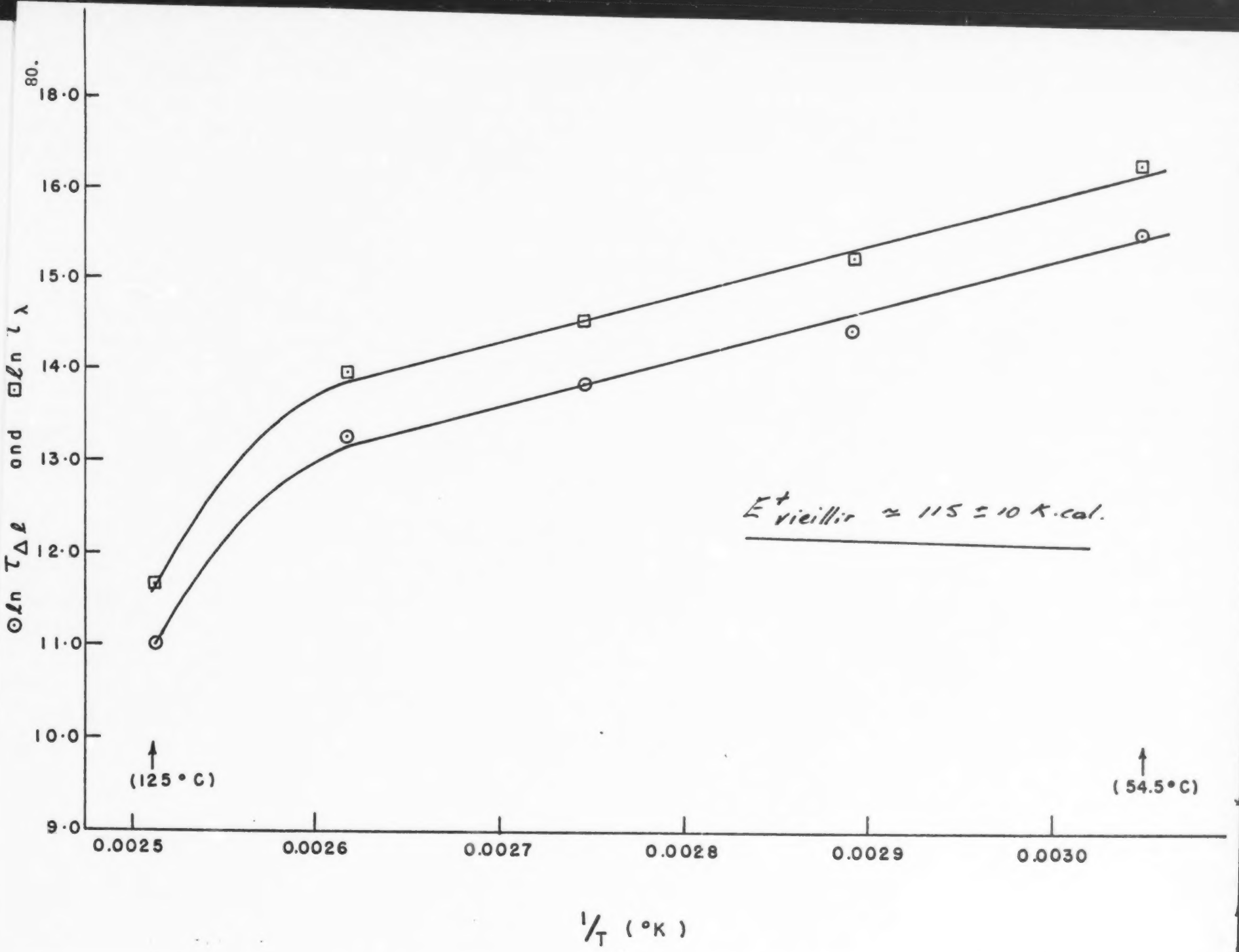
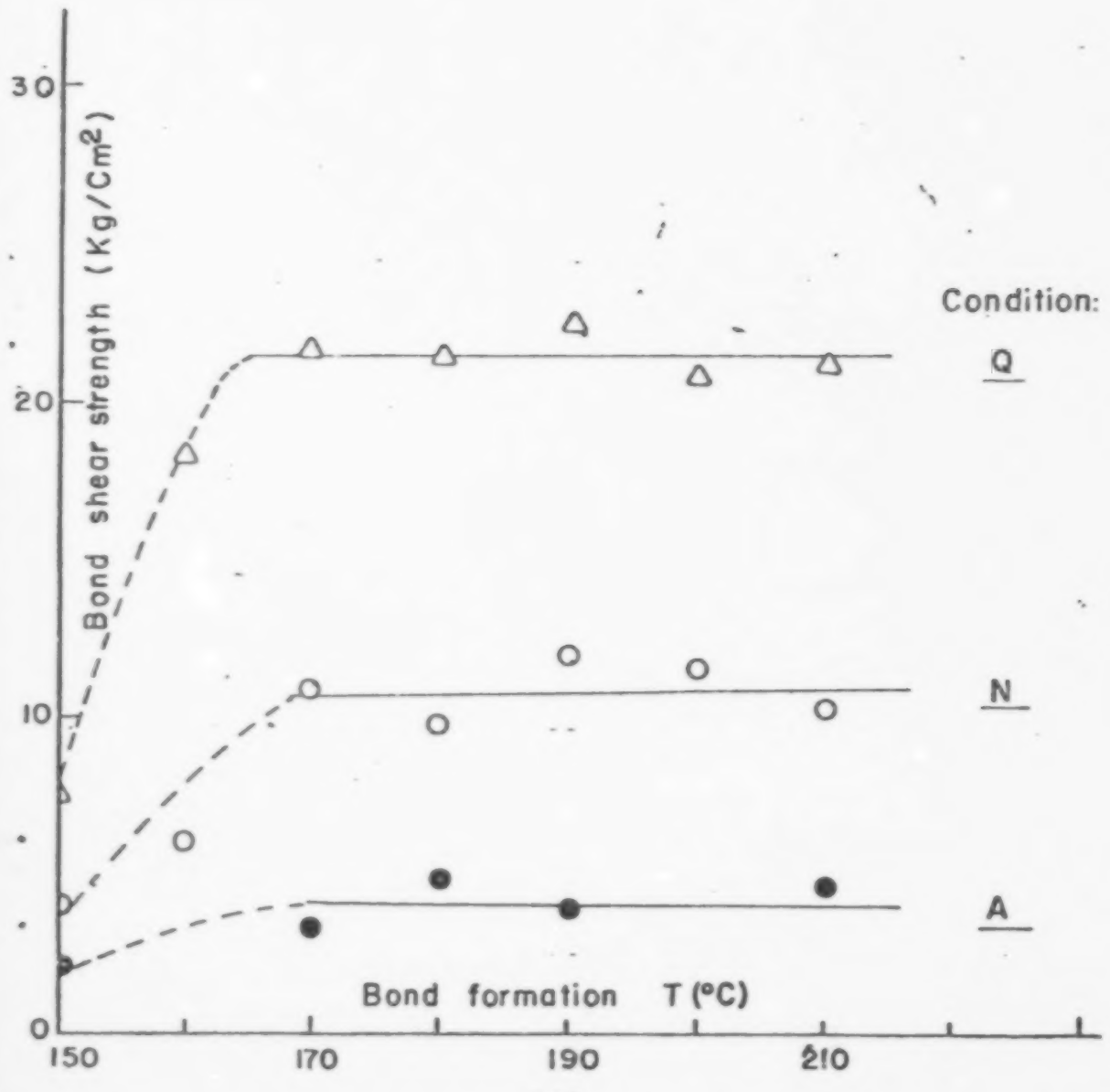

20
10
9
8
7
6
5
4
3
2
1
.9
.8
.7
.6
.5
.4
.3
.2
.1
Extensibility Δ ℓm (cm)
FC
FC-A
SC
ductile failures
brittle failures
Malaxage par Banbury
10
20
30
40
50
60
Blending Time (min.)

ROLL MILL BLENDING TIME (MIN.)

Controle par cisaillement et histoire thermique de la méthode de rupture - mélanges PE/TPR (1:1)




1.8
1.7
1.6
1.5
1.4
1.3
1.2
1.1
1.0
.9
.8
.7
.6
.5
.4
.3
.2
.1
0
ln λ
100
200
300
400
ANNEALING TIME (HOURS)
Annealing Temperature
54.5
72
91
109
125
°C


18·0
16·0
15·0
14·0
13·0
12·0
11·0
10·0
9·0
⊙ℓn τΔℓ and ⊡ℓn τλ
(125°C)
(54.5°C)
0.0025
0.0026
0.0027
0.0028
0.0029
0.0030
1/T (°K)
E+ vieillir ≃ 115 ± 10 K.cal.

SCHREIBER et. al.
Polym. Eng. & Sci. 17, 456 (1977)